



TUGAS AKHIR - TE 141599

Evaluasi Kapasitas Kanal Sistem Komunikasi High Frequency (HF) MIMO 2x2 dengan Skema Alamouti

Rizal Satria Eka Nugraha
NRP 07111340000189

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Departemen TEKNIK ELEKTRO

Fakultas Teknologi Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



Final Project - TE 141599

Channel Capacity Evaluation of 2×2 Multi Input Multi Output High Frequency Communication System With Alamouti Scheme

Rizal Satria Eka Nugraha
NRP 07111340000189

Advisor

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Electrical Engineering Department
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Evaluasi Kapasitas Kanal Sistem Komunikasi HF MIMO 2×2 Dengan Skema Alamouti**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2017

Rizal Satria Eka Nugraha
NRP. 2213100189

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI KAPASITAS KANAL SISTEM KOMUNIKASI HF
MIMO 2x2 DENGAN SKEMA ALAMOUTI**

TUGAS AKHIR


Dijukan guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Gungawan Hardianto, Ph.D.
NIP. 197811111993831002


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT
NIP. 196109031989031001



Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI KAPASITAS KANAL SISTEM KOMUNIKASI HF MIMO 2×2 DENGAN SKEMA ALAMOUTI

Nama : Rizal Satria Eka Nugraha
NRP : 07111340000189
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Negara Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang terbentang dari Sabang hingga Merauke. Namun di saat teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat pesat masih terdapat banyak daerah yang kesulitan dalam mengakses informasi.. High Frequency (HF) merupakan sistem komunikasi menggunakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 1-10 m. HF biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh karena sifat gelombangnya dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer, yakni mampu mengirimkan sinyal 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan repeater. Di zaman ini dimana laju data berperan penting dalam perkembangan informasi, dibutuhkan metode baru guna meningkatkan laju data yang diperlukan di kehidupan sehari-hari. Sistem Komunikasi HF dengan menggunakan metode MIMO 2×2 merupakan salah satu alternatif yang cocok, terutama di wilayah Indonesia yang masih tertinggal. Pada sisi pemancar dan penerima masing masing memiliki 2 antenna untuk metode Multi Input Multi Output (MIMO) untuk proses pengukuran di lokasi Surabaya-Malang dan Bandung-Surabaya. Proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan skema Alamouti dapat memperhitungkan Kapasitas kanal sebagai parameter utama. Didapatkan bahwa terjadi peningkatan nilai kapasitas sebesar dua kali lipat.

Kata Kunci: Kapasitas Kanal, Sistem Komunikasi HF, MIMO 2x2.

Halaman ini sengaja dikosongkan

CHANNEL CAPACITY EVALUATION OF 2×2 MULTI INPUT MULTI OUTPUT HIGH FREQUENCY COMMUNICATION SYSTEM WITH ALAMOUTI SCHEME

Name : Rizal Satria Eka Nugraha
NRP : 07111340000189
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

Indonesia consists of thousands of islands stretching from Sabang to Merauke. However, when telecommunications technology is developing very rapidly there are still many areas that have difficulty in accessing information. High Frequency (HF) is a communication system using radio waves that work on a frequency of 3-30 MHz with a wavelength of 1-10 m. HF is commonly used for long-distance radio communications because the wave properties can be reflected by the ionosphere layer, which is capable of transmitting 80 km to 600 km above the earth's surface, thus reaching far away without repeater. In this day and age where data rates play an important role in the development of information, new methods are needed to increase the rate of data needed in everyday life. HF Communication System using MIMO 2×2 method is one of the suitable alternative, especially in Indonesia which is still lagging behind. On the transmitter and receiver side, each has 2 antenna for Multi Input Multi Output (MIMO) method for measuring process at Surabaya-Malang and Bandung-Surabaya location. The process of evaluating the performance of HF communication system with Alamouti scheme can take into account the channel capacity as the main parameter. It was found that there was a doubling in the value of capacity.

Keywords: Channel Capacity, HF Communication System, MIMO 2x2.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa saya panjatkan kehadirat Allah ‘Azza Wa Jalla. Karena atas limpahan barokah,rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Evaluasi kapasitas kanal HF MIMO 2×2 dengan skema Alamouti”**. Buku ini saya persembahkan khususnya untuk keluarga saya dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh semangat dan kesungguhan, namun saya menyadari bahwa buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan penelitian ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan penelitian ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu saya dan ayah saya, serta adik saya yang selalu setia memotivasi
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Antenna dan Propagasi yang setiap hari menemani
4. Teman-teman Kunam Rangers, Fikrizan Hilmy Andradit, Firman Aziz Nugroho, Igfar Cita S.T , dan Mahendra Kresna S.T. yang selalu menemani dikala sepi dan rindu menerjang, selalu datang disaat yang terduga, dan selalu menginspirasi.
5. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Desember 2017

Rizal Satria Eka Nugraha

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika.....	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Propagasi Gelombang Radio HF	7
2.2 Ionosfer	9
2.3.1 Lapisan D	10
2.3.2 Lapisan E.....	10
2.3.3 Lapisan F	11
2.3 Sistem Komunikasi <i>High Frequency</i> (HF)	11
2.4 Kendala pada Sistem Komunikasi HF	12
2.4.1 Fading.....	13
2.4.2 Sporadic-E	13
2.4.3 Equatorial Spread F (ESF).....	14
2.5 Komunikasi Single hop.....	14
2.5.1 Near Vertical Incident Skywave(NVIS)	15

2.5.2	Jarak Menengah.....	16
2.6	Teknologi MIMO (Multiple Input Multiple Output)	17
2.7	Grafik Labview Sisi Penerima	19
2.8	Perhitungan Daya.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Penentuan Parameter Awal	23
3.2	Metodologi Penelitian.....	26
3.3	Mencari Nilai Respon Kanal.....	28
3.4	Pengukuran Daya Noise.....	28
3.5	Desain Konfigurasi Antenna.....	29
3.6	Perhitungan Kapasitas Kanal SISO, SIMO, MISO, dan MIMO.....	31
3.7	Uji Statistik Nilai Kapasitas	32
3.8	Skema Pengukuran	33
3.8.1	Spesifikasi Pengukuran	33
3.8.2	Proses Pengukuran	33
BAB 4 ANALISA HASIL PENGUKURAN.....		37
4.1	Mendapatkan Nilai Respon Kanal	37
4.2	Perhitungan Kapasitas HF MIMO Link Surabaya-Malang dan Bandung-Surabaya	41
4.3	Perbandingan Nilai Kapasitas Konfigurasi MIMO, MISO, SIMO, dan SISO	46
4.4	Sintesis.....	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53
Daftar Pustaka		55
Lampiran		57
BIOGRAFI.....		111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Metodologi Penelitian	3
Gambar 2.1. Lapisan Ionosfer	8
Gambar 2.2. Ilustrasi Pemantulan Gelombang Radio 1 Hop	9
Gambar 2.3. Lapisan Lapisan Ionosfer Yang Berpengaruh Terhadap Propagasi.....	10
Gambar 2.4 Beberapa contoh Model Propagasi HF	12
Gambar 2.5. Tingkat ketidakfokusan pada lintasan disebabkan oleh fading[6].....	13
Gambar 2.6. Ilustrasi sporadic-E.....	14
Gambar 2.7. Contoh single hop dengan pantulan lapisan ionosfer	15
Gambar 2.8. NVIS (Near Vertical Incident Skywave).....	16
Gambar 2.9. Metode MIMO 2x2	17
Gambar 2.10. Ilustrasi IQ Graph	20
Gambar 2.11. Ilustrasi Baseband Power Spectrum	20
Gambar 3.1. Ilustrasi Lintasan Link Komunikasi HF Surabaya-Malang	24
Gambar 3.2. Ilustrasi Lintasan Link Komunikasi HF Bandung-Surabaya	24
Gambar 3.3. Blok diagram pemancar sistem komunikasi HF MIMO	25
Gambar 3.4. Blok diagram penerima sistem komunikasi HF MIMO	25
Gambar 3.5. Metodologi penelitian.....	27
Gambar 3.6. Proses pengolahan data hasil pengukuran	28
Gambar 3.7. Konfigurasi Antenna SIMO	29
Gambar 3.8. Konfigurasi Antenna MISO	30
Gambar 3.9. Konfigurasi antenna SISO	30
Gambar 3.10. Konfigurasi Antenna MIMO 2×2.....	31
Gambar 3.11. Two-Sample Test	32
Gambar 3.12. Ilustrasi Pengukuran	34
Gambar 4.1. Grafik CDF SISO dan MIMO SBY-MLG	47
Gambar 4.2. Grafik CDF SIMO, MISO, dan MIMO SBY-MLG	47
Gambar 4.3. Grafik CDF SISO dan MIMO BDG-SBY	48
Gambar 4.4. Grafik CDF SIMO, MISO, dan MIMO BDG-SBY	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembagian Band Frekuensi[1].....	7
Tabel 3.1	Spesifikasi Pengukuran Sistem Komunikasi HF	33
Tabel 4.1	Hasil Respon Kanal link Surabaya-Malang	38
Tabel 4.2	Hasil Respon Kanal Link Bandung-Surabaya	39
Tabel 4.3	Hasil Kapasitas Kanal Link Surabaya-Malang	42
Tabel 4.4	Hasil Kapasitas Kanal Link Bandung-Surabaya.....	43
Tabel 4.5	Uji statistik Surabaya-Malang	49
Tabel 4.6	Uji statistik Bandung-Surabaya	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang terbentang dari Sabang hingga Merauke. Namun di saat teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat pesat masih terdapat banyak daerah yang kesulitan dalam mengakses informasi. Untuk itu diperlukan sistem komunikasi dalam menunjang pembangunan daerah terpencil dan juga dapat saling berkomunikasi. Sistem komunikasi radio *High Frequency* (HF) mempunyai beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan sistem komunikasi lain seperti sistem komunikasi satelit ataupun sistem komunikasi optik. HF memiliki kelebihan yaitu dapat memberikan transmisi jarak jauh, biaya rendah, fleksibilitas serta menggunakan frekuensi kanal dengan band 3-30 MHz. Dalam lingkup propagasi, sistem komunikasi HF mampu menjangkau jarak lintasan yang jauh. Selain itu, sistem ini lebih murah dan lebih mudah untuk diimplementasikan bila dibandingkan dengan sistem komunikasi satelit. Sistem komunikasi HF mampu mengirimkan sinyal dengan menggunakan satu atau lebih pantulan pada lapisan ionosfer dengan ketinggian 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi. Hal ini memungkinkan sistem komunikasi HF mampu menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan *repeater*. Gelombang radio yang digunakan tidak memerlukan infrastruktur baru karena hanya menggunakan lapisan ionosfer sehingga tidak dikenakan biaya koneksi. Dengan demikian, salah satu alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan adalah sistem komunikasi HF.

Faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi lapisan ionosfer yaitu ketinggian lapisan ionosfer, lokasi secara geografi, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Karena beberapa kondisi yang fluktuatif tersebut, maka diperlukannya suatu teknik sistem komunikasi yang bertujuan untuk mendapatkan kualitas kinerja sistem komunikasi maksimum. Pada sisi pengirim dan penerima akan dirancang proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan menggunakan teknik MIMO 2x2 yang bertujuan untuk memperbesar throughput dan kapasitas kanal, serta mampu memperkecil perbandingan nilai Eb/No dengan Bit Error Rate (BER) pada sistem komunikasi. Lalu dengan jarak kurang dari 300 Km maka yang dibutuhkan hanya satu pantulan sehingga metode

tersebut disebut NVIS (Near Vertical Incidence Skywave) dengan link pengukuran Surabaya-Malang. Lalu pengukuran dilakukan dengan jarak menengah (300-600 Km) yaitu link Bandung-Surabaya. Dengan begitu diharapkan dapat memperoleh kondisi kualitas kinerja sistem komunikasi HF MIMO secara maksimum.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan dari Proposal Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil kinerja sistem komunikasi HF dengan MIMO ?
2. Bagaimana perbandingan hasil kinerja teknik MIMO dilihat dari perbandingan nilai kapasitas kanal antar konfigurasi antenna?
3. Bagaimana Perbandingan nilai kapasitas kanal antara link Surabaya-Malang dengan Bandung-Surabaya?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Proposal Proposal Tugas Akhir ini adalah:

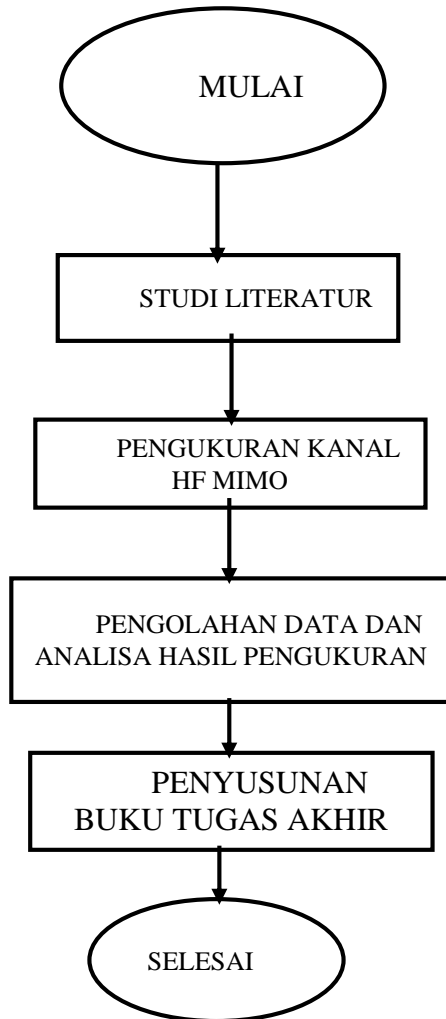
1. Kanal HF yang akan dianalisis adalah kanal HF antara Surabaya – Malang, dan Bandung - Surabaya.
2. Pengukuran kanal HF dilakukan dengan menggunakan perangkat *Universal Software Radio Peripherals* (USRP) dan software LabVIEW, dengan antenna bentang horizontal dipole.
3. Menggunakan Metode MIMO 2x2. Parameter evaluasi hasil kinerja Sistem Komunikasi HF MIMO 2x2 adalah kapasitas kanal dengan Software Matlab

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui karakteristik kanal HF MIMO 2x2 dengan menggunakan skema alamauti dengan menggunakan data hasil pengukuran lapangan.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini telah melalui beberapa tahap seperti yang terdapat pada gambar 1.1 antara lain:



Gambar 1.1 Metodologi Penelitian

- a. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk menunjang teori-teori dasar yang dapat menunjang ppengerjaan tugas akhir ini. Sumber literatur yang diperoleh untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini bisa didapat dari jurnal, paper, majalah, dan penelitian terdahulu.
- b. Pengukuran Kanal HF MIMO
Untuk langkah selanjutnya, dilakukan pengukuran kanal HF MIMO linkBandung-Surabaya. Sisi pengirim terletak di atap kantor LAPAN Bandung, sedangkan sisi penerima terletak di gedung B Departement Teknik Elektro ITS. Pada Link Surabaya-Malang, Sisi pengirim terletak di gedung B Departement Teknik Elektro ITS, sedangkan pada sisi penerima terletak di atap gedung VEDC, Malang.
- c. Pengolahan Data dan Analisa Hasil Pengukuran
Data yang didapat dari hasil pengukuran yang berupa nilai IQ rate kemudian diolah untuk mendapatkan nilai respon impuls kanal untuk selanjutnya digunakan untuk perhitungan kapasitas kanal
- d. Penyusunan Buku Tugas Akhir
Semua hasil analisa yang telah dilakukan akan dikumpulkan menjadi satu dalam bentuk sebuah buku tugas akhir.

1.6 Sistematika

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan serta relevansi hasil penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang penjelasan teori-teori yang terkait dalam penugasan tugas akhir seperti sistem komunikasi *High Frequency* (HF), Karakteristik lapisan Ionosfer,

Teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), Skema Alamouti, dan kapasitas kanal.

BAB III Proses Pengolahan Data

Bab ini membahas hasil pengumpulan data berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan.

BAB IV Analisa Hasil Simulasi

Bab ini berisi hasil berupa grafik dan data serta analisis dari kinerja simulasi yang telah dilakukan

BAB V Penutup

Bab ini berisi hasil kesimpulan dan saran dari hasil analisa penelitian tugas akhir

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan Telekomunikasi

Evaluasi karakteristik kapasitas kanal ini bisa digunakan sebagai tolak ukur kualitas sebuah layanan komunikasi HF dengan penerapan antenna MIMO sebagai peningkatan data yang diterima.

2. Bagi Masyarakat

Sebagai komunikasi alternatif bagi masyarakat pelosok yang sulit mendapatkan akses komunikasi umum lainnya dan sebagai komunikasi yang murah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Mentransmisikan sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain tanpa menggunakan kabel membutuhkan media transmisi berupa gelombang radio. Gelombang radio dapat dikirimkan dengan frekuensi yang diklasifikasi dari spektrum frekuensi 3 kHz – 300 GHz, walaupun sebenarnya gelombang radio masih memungkinkan bekerja pada frekuensi dibawah 30 kHz. Sebuah pemancar radio memancarkan gelombang radio yang merupakan suatu gelombang elektromagnetik yang merambat di udara. Kemudian gelombang akan diterima oleh antena penerima dan menduplikasi energi yang tepat dari pola gelombang yang ditransmisikan dalam penerima.

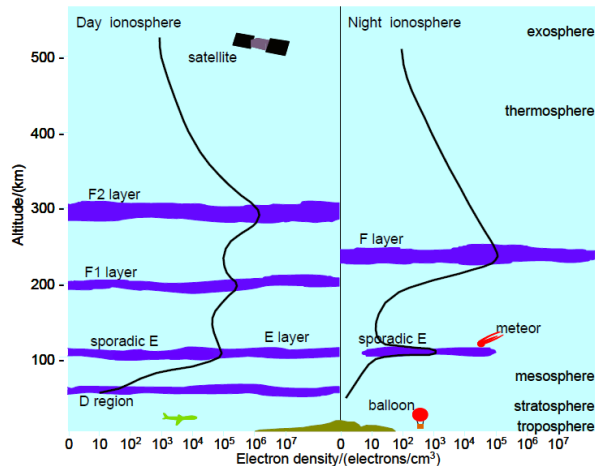
Tabel 2.1. Pembagian Band Frekuensi[1]

Frequency band	Frequency range
Extremely low frequency (ELF)	< 3 kHz
Very low frequency (VLF)	3 – 30 kHz
Low frequency (LF)	30 – 300 kHz
Medium frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz
High frequency (HF)	3 – 30 MHz
Very high frequency (VHF)	30 – 300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Super high frequency (SHF)	3 – 30 GHz
Extra high frequency (EHF)	30 – 300 GHz

2.1 Propagasi Gelombang Radio HF

Mekanisme propagasi gelombang radio bermacam-macam, tetapi pada umumnya dikategorikan menjadi tiga, yaitu pantulan, difraksi dan scattering. Pantulan terjadi ketika gelombang elektromagnetik merambat kemudian menyentuh objek yang memiliki ukuran sangat besar dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Pantulan ini terjadi pada permukaan bumi dan pada bangunan, walaupun pada kenyataannya proses yang terjadi adalah defraksi [2].

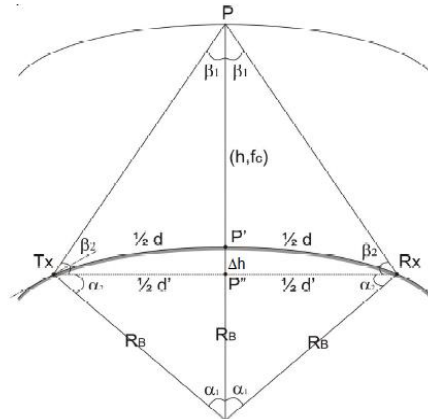
Komunikasi radio *High Frequency* (HF) merupakan komunikasi yang memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan sinyal gelombang radio dengan menggunakan frekuensi kerja 3-30 MHz. Radio komunikasi ini biasanya dipergunakan untuk komunikasi jarak jauh. Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal, terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, F. Masing-masing lapisan memiliki pengaruh tersendiri terhadap komunikasi radio HF. Pemantulan sinyal terjadi pada lapisan F, dimana pada siang hari lapisan F terbagi menjadi dua, yaitu F1 dan F2. Bahkan pada saat tertentu akan terbagi menjadi lebih dari dua lapisan. Sedangkan pada malam hari, lapisan F yang terbagi tadi akan menjadi satu lapisan. Kondisi pada lapisan ionosfer ini diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 2.1. Lapisan Ionosfer

Propagasi gelombang radio HF ditentukan oleh penggunaan frekuensi dan waktu pemantulan pada lapisan ionosfer. Penggunaan frekuensi harus tepat sehingga gelombang radio dapat dipantulkan pada lapisan F dengan baik. Apabila tidak maka sinyal yang dikirim akan diserap (*absorb*) oleh atmosfer. Penentuan frekuensi maksimum komunikasi radio dapat menggunakan perumusan *secant* dengan mempertimbangkan kelengkungan bumi pada hal ini dikhususkan untuk daerah ekuator. Mode propagasi pada radio HF merupakan jalur yang dilalui gelombang radio dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima.

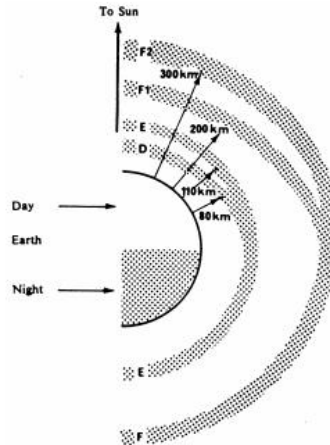
Jalur ini banyak dan bervariasi, sehingga perlu dilakukan “pengarahan”, supaya energi terbesar dari gelombang radio yang dipancarkan akan jatuh pada posisi lawan komunikasi (penerima). Perambatan mungkin terjadi dengan 1 hop (satu kali pantulan dari ionosfer), 2 hop (dua kali pantulan dari ionosfer, dengan pantulan dari permukaan bumi di antara keduanya), dan sebagainya, dan mungkin melalui satu atau beberapa lapisan ionosfer.



Gambar 2.2. Ilustrasi Pemantulan Gelombang Radio 1 Hop

2.2 Ionosfer

Ionosfer adalah lapisan atmosfer yang berada pada ketinggian di atas 50 km dari permukaan bumi. Lapisan ionosfer dipengaruhi oleh radiasi matahari yang menyebabkan terjadinya pemisahan elektron bebas di atmosfer dan struktur ionosfer berubah secara terus menerus khususnya antara siang dan malam hari. Posisi matahari berubah-ubah terhadap titik-titik tertentu bumi, dimana perubahan itu bisa terjadi harian, bulanan, dan tahunan, maka karakteristik yang pasti dari lapisan-lapisan tersebut sulit ditentukan atau dipastikan. Pada siang hari, radiasi dari matahari memiliki intensitas yang paling tinggi, sedangkan di malam hari adalah minimum. Saat radiasi matahari tidak ada, banyak ion-ion yang bergabung kembali menjadi molekul-molekul. Keadaan ini menentukan posisi dan banyaknya lapisan dalam ionosfer. Pada lapisan ionosfer inilah terdapat gas-gas yang secara terus-menerus terkena sinar matahari dan membentuk lapisan ion yang dapat memantulkan gelombang radio. Lapisan ionosfer memiliki beberapa lapisan lagi yaitu



Gambar 2.3 Lapisan Lapisan Ionosfer Yang Berpengaruh Terhadap Propagasi [3]

2.3.1 Lapisan D

Lapisan D merupakan lapisan paling bawah pada ionosfer. Biasanya muncul pada siang hari. Lapisan ini memiliki sifat menyerap gelombang Radio HF. Tingkat ionisasinya sangat tergantung pada pancaran radiasi matahari, yaitu puncaknya pada siang hari. Disaat yang sama, tingkat penyerapannya mencapai maksimum pada siang hari. Terdapat variasi terhadap derajat garis lintang bumi, dimana pada garis ekuator penyerapannya lebih besar, dan semakin mengecil di daerah kutub. Itu berarti untuk penggunaan frekuensi kecil akan mudah terserap, sehingga penggunaan frekuensi yang lebih tinggi yang dapat digunakan [2]

2.3.2 Lapisan E

Lapisan ini merupakan lapisan utama yang digunakan untuk komunikasi *High Frequency* karena ketergantungan akan besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Kadar ionisasi pada lapisan ini lebih padat dari lapisan D dan dapat memantulkan gelombang radio dengan frekuensi sekitar 20 MHz. Berada pada ketinggian antara 100 – 145 km. Lapisan E sering disebut dengan *Electric Field*. Lapisan ini menebal pada siang hari dan akan menyusut (menipis) bahkan hilang pada malam hari. Sehingga pada malam hari sinyal gelombang radio frekuensi HF dengan kekuatan

tertentu dapat melewati lapisan ini dan menuju lapisan di atasnya (lapisan F).

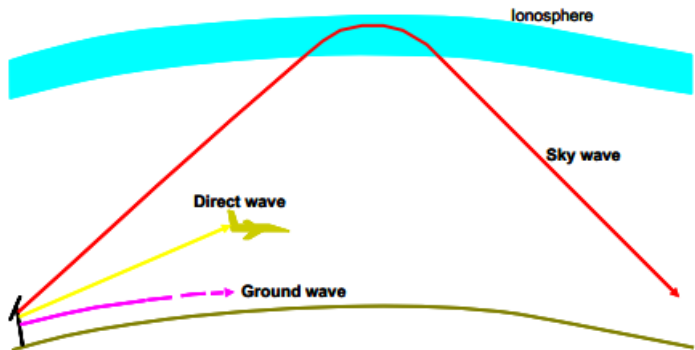
2.3.3 Lapisan F

Pada lapisan F, terbagi menjadi dua lapisan, yaitu F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian 140-250 Km, sedangkan pada lapisan F2 berada pada ketinggian lebih dari 300 Km. Pada saat matahari terbenam, lapisan F1 akan bergabung dengan F2, dan juga karena lapisan F2 ada selama 24 jam. [3.Roger L.Freeman]. Seringkali pada sistem komunikasi HF dengan pantulan *skywave*, pantulan lapisan F yang dimaksud pada umumnya adalah terhadap pada lapisan F2.

2.3 Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF)

Sistem komunikasi radio HF merupakan komunikasi radio yang bekerja pada rentang frekuensi 3-30 MHz, dengan panjang gelombang 10-100 m, sebagaimana yang telah didefinisikan oleh ITU-T pada tabel 2.1 diatas. Sistem komunikasi ini dapat menempuh jarak yang jauh tanpa memerlukan *repeater*. Hal ini dikarenakan sistem ini memanfaatkan pantulan pada lapisan ionosfer. Dengan berkurangnya *repeater* pada sistem komunikasi ini maka peralatan yang digunakan untuk implementasi di lapangan tidak terlalu rumit, dengan kata lain mudah untuk diimplementasikan. Maka sistem komunikasi HF tergolong sistem komunikasi dengan biaya rendah dibandingkan dengan sistem komunikasi lain pada umumnya. Secara umum, terdapat 3 model propagasi HF yaitu propagasi gelombang tanah (*ground wave*), Propagasi NVIS (*Near-Vertical Incidental Skywave*), dan yang paling umum digunakan adalah propagasi gelombang langit atau biasa disebut dengan *skywave*[4].

Penggunaan sistem komunikasi HF telah banyak digunakan baik oleh instansi pemerintah maupun swasta, masyarakat umum hingga pihak militer, bahkan beberapa penyiaran radio menggunakan sistem ini. Karena penggunaan alat yang bersifat independen dan cukup murah maka sistem komunikasi HF dapat digunakan sebagai sistem komunikasi alternatif saat terjadi bencana alam atau saat infrastruktur telekomunikasi yang sering digunakan sedang mengalami gangguan sehingga tidak dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2.4 Beberapa contoh Model Propagasi HF[5]

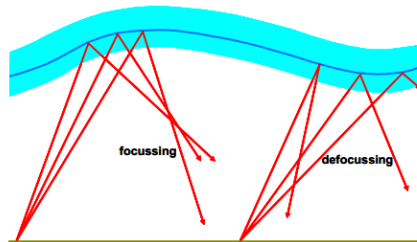
Mode Propagasi HF yang paling sering digunakan adalah propagasi gelombang *skywave*. Dalam prakteknya, mode *skywave* untuk komunikasi jarak jauh sangat bergantung pada lapisan ionosfer untuk memantulkan kembali sinyal ke bumi. Lapisan ionosfer yang mampu memantulkan yaitu pada lapisan E dan F. Dalam proses pemantulan di ionosfer, bisa terjadi lebih dari satu pantulan atau yang biasa disebut dengan *hop*. Untuk jarak dekat (NVIS) menggunakan mode single *hop*, sedangkan untuk jarak yang relatif jauh menggunakan banyak pantulan atau *multihop*.

2.4 Kendala pada Sistem Komunikasi HF

Sistem Komunikasi HF seperti pada sistem komunikasi yang lainnya memiliki beberapa kekurangan, terutama pada proses transmisi yang diakibatkan oleh perilaku lapisan ionosfer yang dapat mengganggu kinerja sistem komunikasi. Fenomena-fenomena yang terjadi pada lapisan ionosfer mayoritas disebabkan oleh aktifitas matahari. Beberapa permasalahan pada sistem komunikasi HF yaitu

2.4.1 Fading

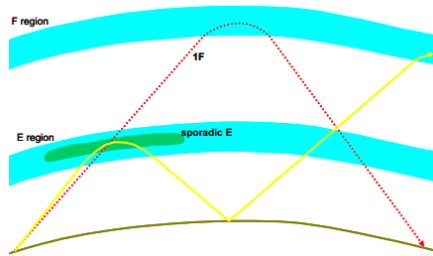
Fading merupakan interferensi antara 2 sinyal atau lebih dari sinyal yang diterima. Akibatnya, sinyal yang diterima bisa menguat ataupun melemah. Terdapat 2 macam *fading* pada umumnya, *fast fading* dan *slow fading*. *Fast fading* sangat berpengaruh dibandingkan *slow fading* dalam sistem komunikasi HF karena noise yang dihasilkan lebih besar daripada sinyal yang dikirimkan yang mengakibatkan sinyal tersebut hilang[6].



Gambar 2.5 Tingkat ketidakfokusan pada lintasan disebabkan oleh fading[6]

2.4.2 Sporadic-E

Lapisan *Sporadic-E* merupakan salah satu media pantul yang baik namun sangat tidak teratur karakteristik lapisan tersebut, sehingga tidak dapat dipastikan penggunaannya seperti apa. Sporadic-E dapat terbentuk pada waktu yang tidak tertentu dimana bisa terjadi pada siang maupun malam hari yang terjadi pada ketinggian 90-140 Km (lapisan E). Salah satu gangguan yang terjadi pada lapisan ini adalah munculnya peningkatan kerapatan elektron di lapisan E. Gangguan yang disebabkan oleh *sporadic-E* menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya dipantulkan pada lapisan F, namun karena muncul *sporadic-E* sangat besar terjadinya pemantulan pada *sporadic-E* sehingga jarak jangkauannya berubah tidak sampai pada penerima[6]. Umumnya *sporadic-E* yang terjadi pada siang hari, terjadi pada ketinggian menengah. Sedangkan pada malam hari terjadi pada ketinggian maksimal. Lokasi geografis juga berpengaruh dengan mempertimbangkan apakah berada pada lokasi khatulistiwa atau bukan.



Gambar 2.6 Ilustrasi *sporadic-E*

2.4.3 Equatorial Spread F (ESF)

Equatorial spread F merupakan sebuah anomali pada saat terbenam matahari di lapisan ionosfer daerah ekuator dan lintang rendah, terjadi peningkatan medan listrik dari arah timur sebelum bergerak ke barat. Peningkatan ini mengakibatkan terjadinya ketidakteraturan pada plasma. Ketidakteraturan ini diamati lewat penyebaran jejak di ionogram, yang biasa disebut *spread F*. Hal ini menyebabkan anomali ionisasi pada ekuator, atau disebut *Equatorial spread F (ESF)*. *Spread f* yang terjadi pada malam hari mengakibatkan sintilasi dan *fading* yang mengganggu komunikasi radio HF dan satelit. Peningkatan aktifitas pada matahari dapat meningkatkan pula kejadian ESF, dimana ESF akan terjadi maksimal saat *equinox* , sedangkan mencapai minimum saat matahari jauh dari ekuator.

2.5 Komunikasi Single hop

Komunikasi *single hop* merupakan sistem komunikasi yang dimana sinyal yang transmisikan dipantulkan pada lapisan ionosfer sebanyak satu kali seperti pada gambar 2.7. Jarak yang bisa dijangkau dengan satu pantulan yaitu bisa sejauh 2000-4000 km, tergantung dimana lapisan yang dapat memantulkan sinyal yang ditransmisikan[3.Roger L freeman, radio system design]. Jarak maksimal tersebut tergantung pada ketinggian maksimum kepadatan elektron. Lapisan yang diinginkan agar dapat dipantulkan sebanyak satu kali adalah pada lapisan F.



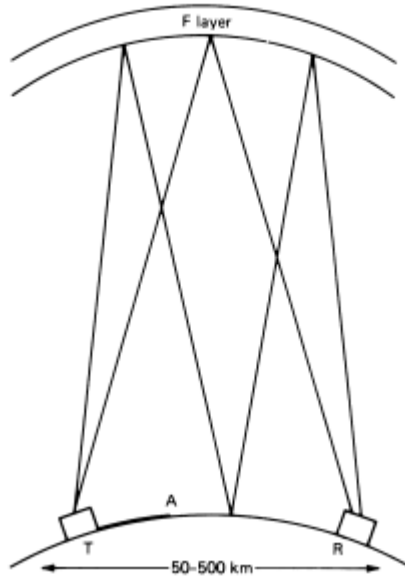
Gambar 2.7 Contoh *single hop* dengan pantulan lapisan ionosfer

Secara umum, *single hop* atau komunikasi dengan menggunakan satu kali pantulan dapat digunakan untuk komunikasi sebagai berikut:

2.5.1 Near Vertical Incident Skywave(NVIS)

NVIS (*Near Vertical Incident Skywave*) adalah pancaran (sinyal) radio di band HF, yang memancar dengan menggunakan sudut pancaran (*Elevation Angle*) yang nyaris tegak lurus (*near vertical*) atau mendekati 90 derajat, sehingga pancaran sinyal yang dipantulkan lapisan ionosfer jatuh kembali dengan jarak 0-400 km. Teknik ini memungkinkan untuk menjangkau area sekitar tanpa mengalami skip zone yang biasanya dialami oleh gelombang HF, dan daerah yang sulit untuk dijangkau seperti pegunungan dan lembah. Umumnya digunakan untuk komunikasi darurat saat bencana alam atau digunakan oleh militer.

Ada dua jenis propagasi yang dapat terjadi apabila menggunakan metode NVIS, *groundwave* atau *skywave*. Propagasi *groundwave* terjadi ketika stasiun penerima berada cukup dekat dengan stasiun pemancar, dan mampu menerima sebagian sinyal stasiun pemancar yang menempel ke tanah. Kisaran propagasi *groundwave* bervariasi dengan jenis antena yang digunakan pada stasiun pemancar, karakteristik medan tanah pada stasiun pemancar dan penerima, dan faktor lainnya. Jarak di luar jangkauan sinyal *groundwave* ditutupi oleh propagasi *skywave*. Skywave adalah gelombang yang memancar ke atas di beberapa sudut dari antenna, dan diharapkan dapat dipantulkan kembali oleh lapisan ionosfer untuk kembali ke bumi dengan jarak yang cukup jauh sesuai yang diharapkan. Propagasi skywave ini diharapkan menjadi landasan penggunaan sistem komunikasi HF kedepan apabila dapat diimplementasikan di lapangan. Salah satu contoh pengukuran NVIS yang dilakukan adalah pengukuran link Surabaya-Malang dengan jarak kurang lebih 75 Km.



Gambar 2.8 NVIS (*Near Vertical Incident Skywave*)[3]

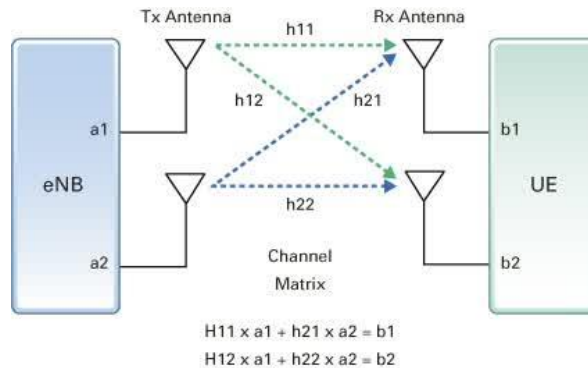
Pada umumnya, besar sudut radiasi yang digunakan yaitu dari 70 hingga 80 derajat terhadap *horizontal*, mendekati tegak lurus. Frekuensi harus dipilih secara hati-hati, sekitar 3 sampai dengan 10 MHz[7]. Untuk metode ini, masih ada kemungkinan untuk propagasi *groundwave*, sehingga penggunaan frekuensi dan sudut radiasi sangat berperan penting agar tidak terjadi propagasi *groundwave*.

2.5.2 Jarak Menengah

Pada sistem komunikasi propagasi HF jarak menengah, jarak yang digunakan adalah 500 sampai dengan 1000 Km. Besar sudut radiasi yang digunakan sangat kecil, yaitu 25 sampai 50 derajat terhadap *horizontal* untuk antena *vertical monopole*, dan 10 sampai 20 derajat terhadap *horizontal* untuk antena *horizontal dipole*[2]. Sudut yang digunakan sangat kecil untuk mengakomodir jarak hingga 1000 Km. Pada propagasi ini, lapisan F (1F) berperan utama karena lapisan tersebut yang memantulkan sinyal HF.

2.6 Teknologi MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO merupakan kependekan dari *Multiple Input and Multiple Output*. Dalam gelombang radio MIMO merupakan metode untuk melipat gandakan kapasitas dengan menggunakan banyak antenna untuk mengirimkan dan menerima data, lalu dengan memanfaatkan penggunaan space time diversity. Tidak seperti sistem antenna konvensional pada umumnya yang sangat rentan terhadap *multipath*, sistem MIMO justru bekerja sangat baik pada komponen *multipath*. Komponen *multipath* dieksploitasi guna meningkatkan diversitas dan efisiensi *bandwidth* (bps/Hz).



Gambar 2.9 Metode MIMO 2x2

MIMO menggunakan sistem yang berbeda yakni dengan menggunakan antenna lebih dari satu untuk penerima dan pengirimnya (*diversity*) [8.Alamouti]. Sistem MIMO justru sangat baik untuk meningkatkan data rate dalam range yang lebih besar tanpa membutuhkan bandwidth atau daya yang lebih besar. Dengan adanya teknologi ini sistem kerja akan lebih baik dibandingkan dengan sistem teknologi SISO (*Single Output Single Input*).

Pada MIMO, Diharapkan dapat meningkatkan ketahanan radio link dengan cara memperbesar *Signal to Noise Ratio* (SNR) atau kapasitas jalur data transmisi. Kapasitas sistem (C) MIMO dipengaruhi oleh jumlah antenna pemancar (N) dan jumlah antenna penerima (M). Secara umum perhitungan kapasitas MIMO dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{1}{B} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} \right) \quad (2.1)$$

Dengan :

C = Kapasitas Shannon MIMO 2x2(bps)

B = *bandwidth* (Hz)

I = matriks identitas 2x2

SNR = *Signal to Noise Ratio* rata – rata pada M antena penerima(dB)

H = matriks kanal MIMO 2x2

H^H = matriks *transpose conjugate*

Persamaan ini digunakan apabila kita mencari nilai kapasitas saja. Namun dengan penggunaan bandwidth yang terbatas dengan medium transmisi yang berbeda di era kemajuan teknologi ini, maka dengan keterbatasan bandwidth yang ada tidak mungkin nilai bandwidth pada suatu sistem komunikasi diperbesar. Untuk membandingkan medium transmisi yang berbeda-beda tanpa perlu memperhatikan bandwidth maka digunakan parameter efisiensi spektrum $\left(\frac{1}{4}\right)$.

Efisiensi spektrum adalah tingkat efisiensi penggunaan transmisi dalam menyalurkan informasi dengan satuan bps/Hz. Semakin tinggi efisiensi spektrum suatu kanal, berarti semakin besar laju informasi (bps) yang dapat disalurkan oleh kanal tersebut dalam tiap 1 Hz bandwidth[11].

$$\frac{1}{4} L \sum_{n=0}^{\infty} B_n : + E \frac{1}{6} * * \dot{A}; C \quad (2.2)$$

Nilai Matriks kanal MIMO 2 x 2 dan *transpose conjugate* dari matriks kanal MIMO 2 x 2 dapat dilihat pada persamaan 2.2 dan 2.3 berikut:

$$H = \begin{bmatrix} D_{ss} & D_{st} \\ D_{ts} & D_{tt} \end{bmatrix} C \quad (2.3)$$

Dengan:

D_{ss} = respon kanal dari TX1 ke RX1

D_{st} = respon kanal dari TX2 ke RX1

D_{ts} = respon kanal dari TX1 ke RX2

D_{tt} = respon kanal dari TX2 ke RX2

$$H^H = \begin{bmatrix} D_{ss} & D_{st} \\ D_{ts} & D_{tt} \end{bmatrix} C^H \quad (2.4)$$

Penelitian ini menggunakan konfigurasi metode MIMO 2 x 2 dengan daya pancar pada pemancar1 = daya pancar pada pemancar2 sehingga rumus perhitungan kapasitas MIMO 2x2 seperti pada persamaan 2.2

$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P}{N \sigma^2} \right) \quad (2.5)$$

P = Energi simbol pada setiap antena pemancar(Joule)

N = jumlah antena pemancar

σ^2 = kerapatan daya noise(W/Hz)

Pada penelitian ini, konfigurasi MISO (*Multi Input Single Output*), SIMO (*Single Input Multi Output*), dan SISO (*Single Input Single Output*) juga ikut dipertimbangkan sebagai acuan hasil kapasitas kanal yang digunakan pada persamaan 2.5 , 2.6 , 2.7

$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P}{N \sigma^2} \right) \quad (2.6)$$

$\tilde{A}_{Y@5} DsF^6$ = Penjumlahan kanal MISO

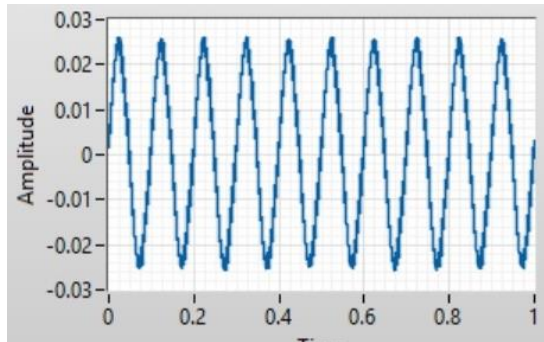
$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P}{N \sigma^2} \right) \quad (2.7)$$

$\tilde{A}_{U@5} Ds^6$ = Penjumlahan kanal SIMO

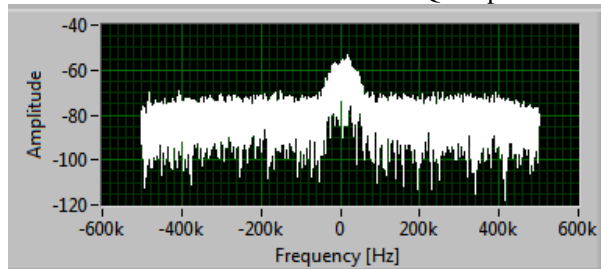
$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P}{N \sigma^2} \right) \quad (2.8)$$

2.7 Grafik Labview Sisi Penerima

Pada Labview, khususnya pada sisi penerima terdapat 2 tampilan grafik yang muncul, IQ graph dan Baseband Power Spectrum. IQ graph adalah grafik tegangan sebagai fungsi waktu, sedangkan Baseband Power Spectrum menampilkan daya sebagai fungsi frekuensi. Namun grafik pada pengukuran yang akan kita simpan (rekam) adalah grafik IQ Graph. Namun untuk mengetahui apakah sinyal yang dikirim dari sisi TX diterima atau tidak. Dengan begitu kita bisa melanjutkan ke proses selanjutnya yaitu mengolah data yang terekam apabila sinyal yang dikirim diterima.



Gambar 2.10 Ilustrasi IQ Graph



Gambar 2.11 Ilustrasi Baseband Power Spectrum

I/Q adalah modulasi 2 buah sinyal sinusoida seimbang yang memiliki perbedaan phase sebesar seperempat lingkaran ($\pi/2$) dengan frekuensi kerja yang sama. Perbedaan phase antara 2 sinyal tersebut dapat dinotasikan dengan persamaan kompleks $\sin \omega_0 t$ dan $\cos \omega_0 t$. Dapat terlihat persamaan kompleks tersebut pada persamaan 2.8

$$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} \cos \omega_0 t \\ \sin \omega_0 t \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Pada persamaan 2.9, $\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix}$ terdiri dari dua bagian penting, yaitu I, In-phase (bilangan real) dan Q, quadrature (bilangan imajiner) yang dimana keduanya saling orthogonal.

Sebelum sinyal informasi yang berbentuk sinusoidal (baseband) bercampur dengan sinyal carrier, maka sinyal sinusoidal bisa juga dinyatakan dalam bentuk polar sebagai satuan vektor atau perputaran fasa ω_0 radian/sekon.

Sedangkan saat sinyal informasi telah dimodulasi dengan sinyal carrier menjadi sinyal bermodulasi (bandpass), dari diagram IQ Labview penerima dapat ditentukan nilai perubahan fasanya menggunakan persamaan berikut:

$$OP, L \# \dots : t B?P E \hat{1} ; \quad (2.10)$$

Dengan :

OP, = Sinyal (volt)

A = Amplitudo

B? = Frekuensi Carrier (Hz)

$\hat{1}$ = Perubahan fasa (rad)

2.8 Perhitungan Daya

Dari persamaan 2.10 , sinyal sinusoidal yang diterima (yang telah mengalami pergeseran fase dari aslinya) dapat juga direpresentasikan dengan menggunakan diagram IQ tegangan sebagai fungsi waktu. Adapun nilai IQ tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut::

$$OP, L \# \dots : t B?P E \hat{1} ;$$

$$L \# \dots t B?P \# \dots \hat{1} F F \bullet t B?P \bullet \hat{1} \quad (2.11a)$$

$$OP, L \pm P, E 3 : P, \quad (2.11b)$$

Dengan :

$\pm P, L \# \dots \hat{1} \# \dots t B?P$ = Nilai Real (Inphase))

$3 : P, L F \# \bullet \hat{1} \bullet t B?P$ =Nilai Imajiner (Quadrature)

Sedangkan untuk menghitung nilai daya dari sinyal I/Q dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$9 L + E F 3^6 \quad (2.12)$$

Dengan : W = Daya (Watt)

I = Nilai Real tegangan (volt)

Q = Nilai Imajiner tegangan (volt)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

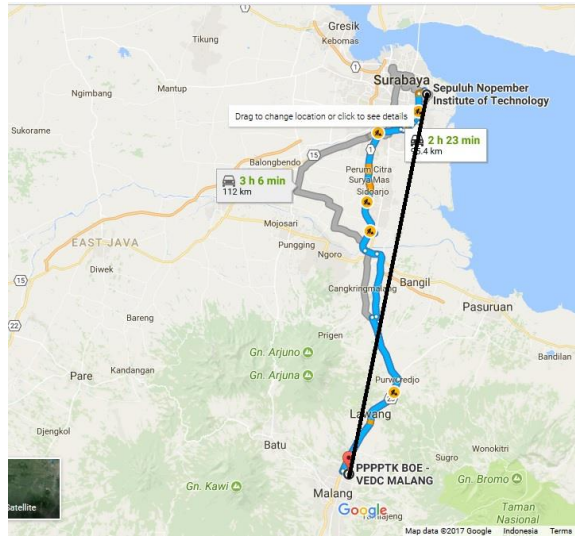
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hal - hal yang berkaitan dengan proses dan tahapan pengukuran yang digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan (seperti kapasitas kanal pada penelitian ini).

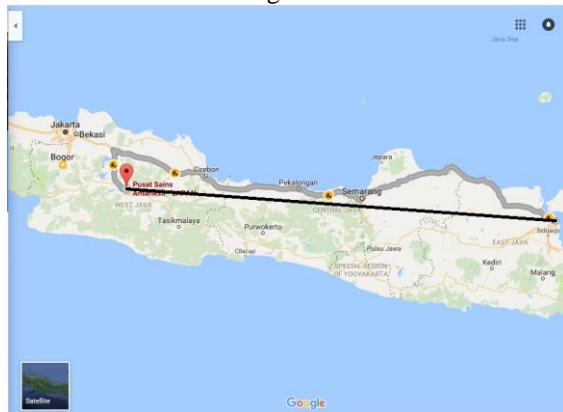
3.1 Penentuan Parameter Awal

Penentuan parameter diperlukan guna memenuhi kriteria pengukuran yang diinginkan. Metode MIMO 2x2 digunakan yang artinya pada sisi penerima dan pengirim menggunakan dua antenna. Antenna yang digunakan yaitu antenna horizontal dipole baik pada sisi penerima dan pengirim, kecuali di Bandung yang dimana antenna yang digunakan adalah antenna Ionosonda namun masih dengan jenis antenna dipole. Antenna yang digunakan adalah antenna tipe ICOM MN100. Karena menggunakan metode MIMO 2x2 , maka antenna yang digunakan dipasang saling berdekatan satu dengan lainnya dengan sudut antar antenna satu dengan lainnya berbeda 90° atau saling ortogonal. Ini dilakukan agar pada saat sinyal di kirim, tidak saling menginterferensi antenna satu dengan antenna lainnya. Ini dilakukan pada sisi pemancar maupun sisi penerima.

Link Sistem Komunikasi HF diimplementasikan baik di pemancar maupun penerima. Pada sisi pemancar terletak di Laboratorium Antenna dan Propagasi gedung B Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan letak koordinat 7°17'5.81"LS dan 112°47'46.68"BT. Sedangkan receiver untuk kota Malang ditempatkan di gedung Departemen Teknologi Informasi PPPPTK VEDC Arjosari Malang dengan koordinat 7°56'4.42"LS dan 112°39'46.73"BT yang berjarak sekitar 72 Km dari Surabaya, untuk kota Bandung ditempatkan di kantor Pusat Sains dan Teknologi Antariksa Lapan Bandung dengan koordinat 6°53'39.26"LS dan 107°35'12.59"BT yang berjarak sekitar 575 Km . Ilustrasi untuk lintasan Surabaya-Malang dan Surabaya-Bandung bisa dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 . Frekuensi pengukuran yang digunakan adalah frekuensi 5, 7, dan 10 Mhz. Daya pancar yang digunakan adalah 20 W. Dibutuhkan amplifier agar dapat menghasilkan daya sebesar 20 W, sehingga minimal pada sisi pengirim membutuhkan dua amplifier untuk dua antenna.



Gambar 3.1 Ilustrasi Lintasan Link Komunikasi HF Surabaya-Malang

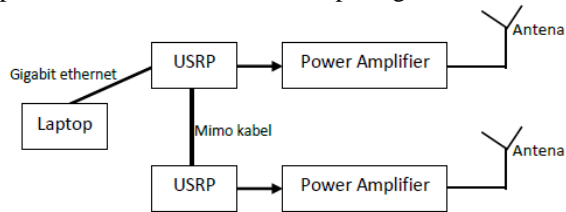


Gambar 3.2 Ilustrasi Lintasan Link Komunikasi HF Bandung-Surabaya

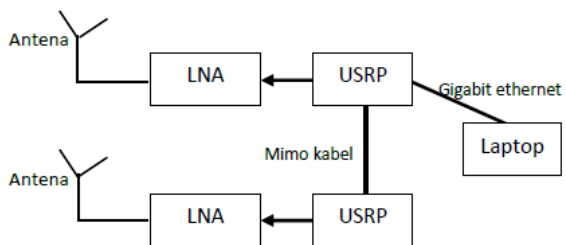
Pada setiap sistem komunikasi, terdapat subsistem pemancar dan subsistem penerima pada setiap linknya. Pada subsistem pemancar, laptop dihubungkan ke salah satu USRP menggunakan gigabit ethernet untuk

mengendalikan USRP dengan laptop pengirim. Karena pada pengukuran ini menggunakan konfigurasi MIMO, maka antar USRP dihubungkan dengan kabel MIMO supaya USRP yang tidak terhubung dengan kabel ethernet laptop pengirim dapat dikendalikan secara bersama-sama. Lalu dari masing-masing USRP dihubungkan ke amplifier agar daya yang dipancarkan sebesar 20 watt. Selanjutnya keluaran dari amplifier akan dihubungkan ke antenna 1 dan antenna 2 yang akan dipancarkan. Ilustrasi bisa dilihat pada gambar 3.3.

Pada Subsistem penerima, laptop dihubungkan ke salah satu USRP dengan gigabit ethernet agar USRP dapat dikendalikan lewat laptop penerima. Karena pada pengukuran ini menggunakan konfigurasi MIMO, maka antar USRP dihubungkan dengan kabel MIMO supaya USRP yang tidak terhubung dengan kabel ethernet laptop pengirim dapat dikendalikan secara bersama-sama. Lalu dari masing-masing USRP dihubungkan ke LNA yang berguna untuk menguatkan sinyal yang diterima pada penerima. Ilustrasi bisa dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 Blok diagram pemancar sistem komunikasi HF MIMO[9]



Gambar 3.4 Blok diagram penerima sistem komunikasi HF MIMO [9]

3.2 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini seperti pada diagram pada gambar 3.3. Berikut ini adalah langkah-langkah pengerjaan tugas akhir:

- z Mencari Data Hasil Pengukuran berupa Respon Kanal Lintasan Surabaya-Malang dan Surabaya-Bandung

Data hasil pengukuran baik dari link Surabaya-Malang dan Surabaya-Bandung yang telah dicapture dan mendapatkan nilai IQ yang akan diolah untuk mendapatkan nilai respon kanal h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} . Dari nilai respon kanal tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai selanjutnya.

- z Desain Konfigurasi Antenna

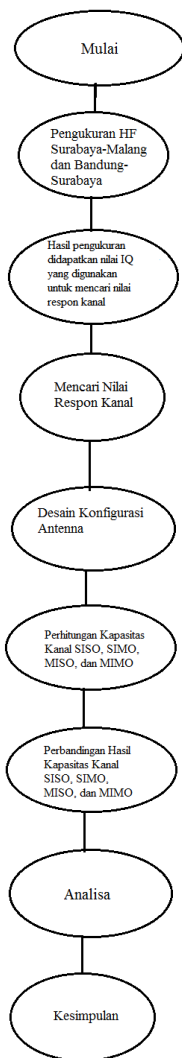
Untuk menggunakan data respon kanal h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} , perlu adanya konfigurasi antena pada saat pengolahan data. Konfigurasi ini berguna untuk mencari perbedaan pada MISO dan SIMO dimana pada dua konfigurasi tersebut memiliki dua kemungkinan yang hasilnya bisa berbeda.

- z Perhitungan Kapasitas Kanal SISO, MISO, SIMO, dan MIMO

Perhitungan kapasitas kanal SISO, MISO, SIMO, dan MIMO dilakukan setelah melakukan konfigurasi antena pada sisi pengirim dan penerima. Khusus untuk konfigurasi SIMO dan MISO, masing-masing memiliki 2 kemungkinan sehingga hasilnya nanti keseluruhan akan menampilkan enam konfigurasi dengan 6 kapasitas kanal yang berbeda.

- z Perbandingan Hasil Kapasitas Kanal SISO, SIMO, MISO, dan MIMO

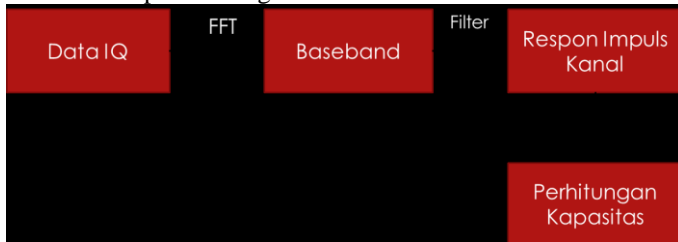
Setelah mendapatkan nilai kapasitas kanal pada masing masing konfigurasi, nilai tersebut akan dibandingkan dengan setiap konfigurasi yang ditetapkan serta membandingkan antar link Surabaya-Malang dan Surabaya-Bandung untuk dianalisa dan diambil kesimpulan.



Gambar 3.5 Metodologi penelitian

3.3 Mencari Nilai Respon Kanal

Untuk mendapatkan nilai respon kanal, terlebih dahulu mengolah data IQ yang telah direkam saat pengukuran sebelumnya. Data IQ didapatkan dengan cara *capture data* pada IQ graph pada program di posisi receiver. Data IQ yang telah terekam akan diolah untuk mencari baseband sinyal terlebih dahulu, dengan cara melakukan proses *fast fourier transform*. Setelah mendapatkan baseband sinyal, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan proses filter terhadap sinyal tersebut untuk mendapatkan nilai respon kanal. Filter yang digunakan adalah filter yang menggunakan teknik windowing dengan memilih window Hamming. Sebelum melakukan proses filtering yang harus dilakukan terlebih dahulu yaitu menentukan orde filternya. Setelah mendapatkan nilai orde filter maka selanjutnya orde filter digunakan untuk mendapatkan fungsi filter.



Gambar 3.6 Proses pengolahan data hasil pengukuran

Setelah berhasil mendesain fungsi filter dengan teknik windowing maka tahap selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal hasil perkalian. Hasil akhir dari proses konvolusi ini menghasilkan nilai respon kanal setiap channel transmitter terhadap channel receiver. Terdapat empat buah respon kanal yang dihasilkan yang diberi simbol h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} .

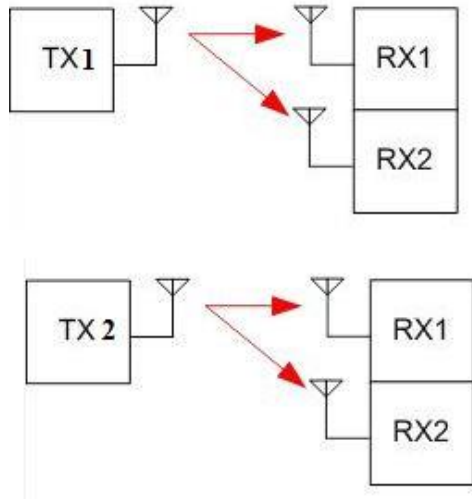
3.4 Pengukuran Daya Noise

Pengukuran daya noise dilakukan dengan tujuan untuk mengukur daya noise sebuah kanal pada saat pengukuran. Setiap channel pada semua data pengukuran diukur daya noisenya dengan cara mengambil nilai minimum level sinyal pada semua data yang tersimpan. Pada setiap pengukuran dan setiap channel akan menghasilkan level sinyal yang berbeda-beda.

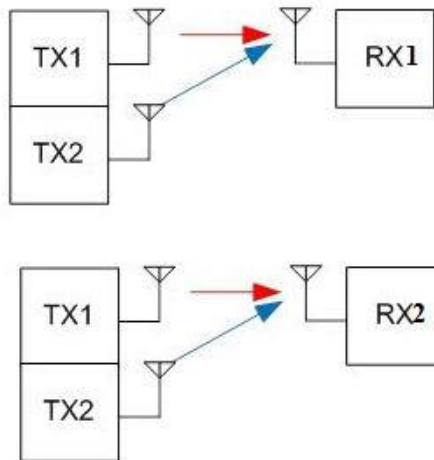
Langkah selanjutnya adalah mengambil nilai rata-rata terhadap semua nilai daya noise tersebut. Dari dua link pengukuran MIMO 2×2 yang telah dilakukan, didapatkan nilai daya noise rata-rata dari sistem komunikasi ini adalah 5.96×10^{-6} W/Hz. Dengan asumsi bahwa pada penelitian kali ini noise yang terukur adalah berjenis white noise yang berarti noise pada semua data hasil pengukuran memiliki nilai yang sama. Sehingga nilai noise rata-rata ini yang akan digunakan sebagai nilai daya noise pada perhitungan kapasitas.

3.5 Desain Konfigurasi Antenna

Konfigurasi antenna diperlukan agar nanti pada saat perhitungan kapasitas kanal (terutama pada SIMO dan MISO) kanal yang dimasukan kedalam rumus sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan. Konfigurasi antenna yang akan digunakan berdasarkan pada konfigurasi SIMO dan MISO. Karena masing-masing respon kanal memiliki nilai yang berbeda dan hasil kapasitas kanal yang berbeda maka perlu melakukan konfigurasi. Untuk Konfigurasi Antenna SIMO bisa dilihat pada gambar 3.7 dan untuk MISO bisa dilihat pada gambar 3.8 .



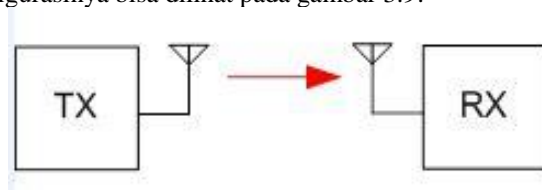
Gambar 3.7 Konfigurasi Antenna SIMO



Gambar 3.8 Konfigurasi Antenna MISO

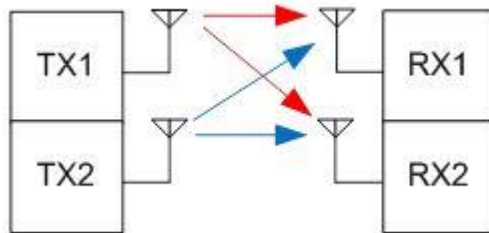
Perbedaan pada setiap konfigurasi terlihat pada antenna yang digunakan pada sisi pemancar dan penerima. Pada konfigurasi SIMO, sisi antenna pengirim yang menggunakan antenna berbeda, begitu juga pada konfigurasi MISO yang berbeda pada sisi antenna pengirim. Dengan masing-masing konfigurasi memiliki dua kemungkinan maka bisa dibandingkan antar dua kemungkinan tersebut yang mana yang mendekati dengan dasar teori yang ada.

Pada konfigurasi SISO, terdapat 4 kemungkinan yang artinya pada konfigurasi ini memiliki 4 nilai kapasitas kanal yang berbeda. Namun pada penelitian tugas akhir ini hanya dapat menggunakan salah satu nilai yaitu pada kanal h11 atau pada antenna pengirim 1 dan penerima 1. Untuk konfigurasinya bisa dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Konfigurasi antenna SISO

Untuk konfigurasi MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2. Artinya pada sisi penerima terdapat dua antenna penerima dan dua antenna pengirim. Dengan konfigurasi ini diharapkan dapat meningkatkan kapasitas kanal sistem komunikasi HF. Konfigurasi MIMO 2x2 bisa dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Konfigurasi Antenna MIMO 2x2

Pada lokasi pengukuran, hanya dilakukan pengukuran dengan satu konfigurasi yaitu konfigurasi MIMO 2x2. Karena dengan menggunakan konfigurasi ini sudah dapat mewakili konfigurasi lainnya untuk proses perhitungan kapasitas.

3.6 Perhitungan Kapasitas Kanal SISO, SIMO, MISO, dan MIMO

Perhitungan kapasitas kanal ini diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas kanal yang tersedia. Kanal merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari *transmitter* ke *receiver*.

Penelitian ini menggunakan konfigurasi metode MIMO 2 x 2 dengan daya pancar pada pemancar1 = daya pancar pada pemancar2 sehingga rumus perhitungan kapasitas MIMO 2x2 seperti pada persamaan 2.4

Nilai βO atau energi simbol pada pemancar didapatkan dari satu per akar daya pancar pada setiap pemancar, dimana pada setiap kanal memancarkan sebesar 1 watt. Sehingga Energi simbol yang dipancarkan adalah sebesar 1 joule. Daya pancar baik untuk pengukuran Surabaya-Malang maupun Surabaya-Bandung sama-sama sebesar 20 Watt. Daya transmitter diperlukan untuk mengetahui nilai matriks MIMO 2x2. No

merupakan daya pada noise dimana daya tersebut diambil dari nilai minimum level sinyal pada semua data yang telah di *capture*. Dari semua nilai minimum level sinyal yang diterima diambil rata-rata nya. Daya noise rata-rata yang diterima sebesar 5.96×10^{-6} W/Hz. Dengan asumsi bahwa noise pada penelitian ini adalah *white noise* maka noise pada semua data hasil pengukuran memiliki nilai yang sama.

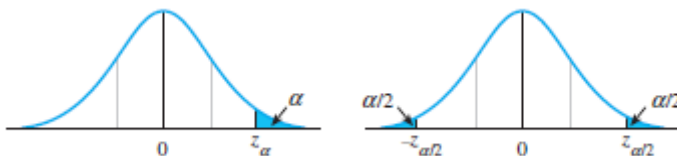
Pada perhitungan untuk konfigurasi SISO, SIMO, dan MISO perhitungannya sama, yang berbeda hanya pada penggunaan matriks kanal yang diganti dengan respon kanal yang sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan. Berikut adalah rumus perhitungan untuk konfigurasi SIMO, MISO, dan SISO :

Semakin besar nilai respon kanal akan mempengaruhi besar kecilnya kapasitas kanal pada setiap konfigurasi. Namun besarnya nilai kapasitas kanal antar link belum bisa dijadikan acuan bahwa salah satu link lebih baik dibandingkan link lainnya. Perlu diuji secara statistik terhadap masing-masing link untuk mengetahui sistem komunikasi mana yang lebih baik.

3.7 Uji Statistik Nilai Kapasitas

Validasi data hasil perhitungan diperlukan untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan yang telah dilakukan sudah sesuai dengan teori yang berlaku. Pengujian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode 2-sample test.

Metode Two-sample test adalah metode statistik yang membandingkan antar dua sampel populasi yang berbeda. Biasanya digunakan untuk mencari hipotesis dari dua buah data apakah sama atau beda. Umumnya menggunakan uji z yang dimana $(\mu_1 - \mu_2) = D_0$ atau biasa disebut null hypothesis[10].



Gambar 3.11 Two-Sample Test

3.8 Skema Pengukuran

Pada subbab ini akan membahas mengenai skema pengukuran yang dilakukan pada dua link pengukuran yang telah dilakukan pada penelitian ini.

3.8.1 Spesifikasi Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan mengikuti beberapa spesifikasi yang perlu diikuti baik pada link Surabaya-Malang maupun link Bandung-Surabaya. Spesifikasi lengkap untuk pengukuran sistem komunikasi HF ini bisa dilihat pada tabel 3.1 berikut:

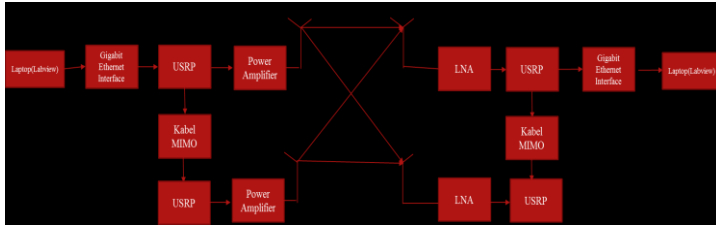
Tabel 3.1 Spesifikasi Pengukuran Sistem Komunikasi HF

N O	Spesifikasi Pengukuran	Simbol	SBY-MLG	BDG-SBY	Ket
1	Frekuensi	F	7	5,7,10	MHz
2	Antenna		Horizontal Dipole	Horizontal Dipole	
3	Jarak		75	575	Km
4	Metode		MIMO 2×2	MIMO 2×2	
5	Sinyal yang dikirim		Sinyal Tone	Sinyal Tone	
6	SDR		USRP	USRP	
7	Pantulan		Single Hop	Single Hop	

Tabel diatas menjelaskan spesifikasi pengukuran dengan dua lokasi pengukuran yang berbeda. Mayoritas spesifikasi pengukuran baik pada link Surabaya-Malang dan Bandung-Surabaya memiliki spesifikasi yang sama dengan perbedaan yang menonjol terletak pada jarak pengukuran, frekuensi yang digunakan, dan lokasi penerima dan pengirim.

3.8.2 Proses Pengukuran

Apabila spesifikasi pengukuran yang diharapkan sudah memenuhi sesuai dengan kriteria subbab sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan proses pengukuran. Dengan mengikuti proses yang ada diharapkan proses pengukuran sistem komunikasi HF dapat berjalan dengan baik. . Adapun ilustrasi proses pengukuran sistem komunikasi HF dengan menggunakan MIMO 2×2 adalah sebagai berikut:



Gambar 3.12 Ilustrasi proses pengukuran

Dari ilustrasi diatas dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

- x Pada lokasi link pengukuran baik sisi pengirim dan penerima digunakan 2 antenna agar dapat melakukan pengukuran metode MIMO 2×2 . Dengan lokasi sudah dipersiapkan, peralatan seperti USRP, amplifier, dan laptop.
- ❑ Pada sisi pengirim, dengan menghubungkan satu USRP untuk mengendalikan kedua USRP, masing USRP mengirimkan sinyal tone yang dipancarkan menuju antenna penerima.
- ❑ Sinyal yang diterima pada sisi penerima, yang nanti pada laptop sisi penerima akan menampilkan grafik yang akan menampilkan respon kanal hasil pengukuran yang dimana apakah sinyal dikirim diterima atau tidak. Apabila sinyal diterima, maka pada sisi penerima merekam hasil pengukuran tersebut yang berupa grafik untuk disimpan dalam bentuk format CSV.
- ❑ Dalam setiap pengambilan data, terdapat 5 kali perekaman. Lalu dalam selang waktu tertentu, dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali perekaman. Ulangi langkah 2-3 untuk melakukan pengukuran.
- ❑ Pada pengukuran yang telah dilakukan, data yang terekam pada pengukuran link Surabaya-Malang sebanyak 71 data dan pada link Bandung-Surabaya sebanyak 175 data. Perbedaan jumlah data yang terekam ini terjadi dikarenakan adanya keterbatasan mengenai waktu

pengambilan data pada lokasi Malang sehingga data yang didapatkan hanya sebanyak 71.

- ② Setiap hasil pengukuran yang tersimpan dalam bentuk CSV (excel) kemudian akan dioalah datanya untuk mencari respon kanal dengan menggunakan software Matlab. Respon kanal yang didapatkan nantinya berupa respon kanal h11, h12, h21, dan h22.
- ② Setelah mendapatkan nilai respon kanal pada masing-masing kanal, maka selanjutnya kita dapat gunakan respon kanal tersebut untuk menghitung kapasitas kanal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISA HASIL PENGUKURAN

Pada bab ini, akan dilakukan analisa hasil pengukuran sesuai dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada bab ini, akan menjelaskan tentang analisa hasil pengukuran dan keterkaitannya dengan teori yang ada, sehingga didapatkan kesimpulan.

4.1 Mendapatkan Nilai Respon Kanal

Dari data IQ graph yang telah dicapture (rekam), dapat diolah untuk mencari data yang diinginkan. Dalam penelitian ini hasil akhir yang diinginkan adalah mencari kapasitas kanal dengan berbagai konfigurasi yang diinginkan pada dua link pengukuran yang telah dilaksanakan.

Data IQ yang telah direkam akan diolah untuk mencari baseband sinyal terlebih dahulu, dengan cara melakukan proses *fast fourier trasnform*. Setelah mendapatkan baseband sinyal, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan proses filter terhadap sinyal tersebut untuk mendapatkan nilai respon kanal. Filter yang digunakan adalah filter yang menggunakan teknik windowing dengan memilih window Hamming. Sebelum melakukan proses filtering yang harus dilakukan terlebih dahulu menentukan orde filternya. Setelah mendapatkan nilai orde filter maka selanjutnya orde filter digunakan untuk mendapatkan fungsi filter.

Setelah berhasil mendesain fungsi filter dengan teknik windowing maka tahap selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal hasil perkalian. Hasil akhir dari proses konvolusi ini menghasilkan nilai respon kanal setiap channel transmitter terhadap channel receiver. Terdapat empat buah respon kanal yang dihasilkan yang diberi simbol h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} .

Nilai h_{11} adalah menunjukkan nilai respon kanal antara channel(kanal) 1 pada transmitter terhadap channel 1 pada receiver. Nilai h_{12} adalah menunjukkan nilai respon kanal antara channel 2 pada transmitter terhadap channel 1 pada receiver. Nilai h_{21} adalah menunjukkan nilai respon kanal antara channel 1 pada transmitter terhadap channel 2 pada receiver. Nilai h_{22} adalah menunjukkan nilai respon kanal antara channel 2 pada transmitter terhadap channel 2 pada receiver. Nilai respon kanal bisa dilihat pada tabel 4.1 untuk link Surabaya-Malang dan tabel 4.2 untuk Bandung-Surabaya. Hasil nilai respon kanal yang ditampilkan pada bab ini tidak seluruhnya ditampilkan, hanya beberapa sampel sebagai bukti hasil pengolahan.

Tabel 4.1 Hasil Respon Kanal link Surabaya-Malang

h11	h12	h21	h22
kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
- 0.022653486180 0103 + 0.134891542200 463i	- 0.46471593798 0099 + 0.15518972946 5882i	- 0.00329263793432 758 - 0.06369555335587 10i	0.245362 328280421 - 0.0179160294 425138i
0.6283492 97134542 - 0.584373765506 741i	- 1.51003352577 228 - 0.63123837146 8958i	- 0.03744226014840 33 + 0.09190444384695 09i	0.114492 484304840 + 0.1331704211 74605i
0.1836344 39830831 + 0.058691520606 6542i	0.129014 287709912 + 0.54840682203 0743i	- 0.13852885151292 4 - 0.00555177555101 667i	- 0.1444164228 63715 + 0.1293656929 95259i
0.0415765 549190670 + 1.938157008722 91i	0.220643 792381548 - 0.41515502871 8775i	0.0463783568 563321 - 0.13867848953514 3i	0.009847 02083605597 + 0.1239128615 87951i
- 0.132956151594 028 - 1.425500836135 74i	0.300836 946218063 - 0.27049797381 6132i	- 0.17450668573275 6 + 0.03754008055685 53i	- 0.1158574165 39607 + 0.2677834835 46866i
- 0.617949770298 954 - 0.137445831712 012i	0.735167 981668330 - 0.75536386117 1519i	- 0.02751586980353 27 + 0.00398599476285 108i	- 0.1286194943 33116 + 0.1199755027 73581i
0.0696616 003026018 + 0.486883663625 571i	- 0.56108175646 5620 + 0.56646547026 4114i	- 0.06224672931612 07 + 0.08258849449590 28i	0.071381 6206685094 + 0.2689241491 43690i
0.2315841 31299716 + 0.487102260476 338i	0.829706 479863498 - 0.76946127170 6509i	- 0.15349503568570 0 +	0.098896 4985575892 - 0.1798286516 63648i

		0.05604028249581 02i	
- 0.326489977530 946 + 0.031998146303 2397i	0.182342 631176859 + 0.66007650773 9072i	0.1399680469 93756 + 0.06894722322855 33i	0.037761 5429222405 + 0.0699972836 896126i
- 0.411419198738 093 + 0.184595541733 116i	- 0.00625370246 016011 + 0.66550915115 6483i	- 0.10774968100750 7 + 0.06442316430777 52i	0.058135 8034981491 - 0.2043347349 77009i
0.0937418 346864733 + 0.043882256634 4246i	0.652685 551582857 + 0.26402497703 6935i	0.1173120162 59230 - 0.17798706546965 1i	- 0.2180296299 90868 - 0.1367227210 93591i
0.4449030 41473762 + 0.125383618085 333i	0.426057 894943040 + 0.13908783418 3551i	- 0.05026397718112 50 - 0.15474267720716 3i	0.018472 1330642003 - 0.0605921245 025976i
1.8862880 7434320 + 0.550923552928 704i	1.952376 47671375 - 0.52022934098 4085i	0.1628186462 96563 + 0.13511806465128 1i	0.197981 545104864 - 0.0786139923 338583i
- 2.340395487967 86 + 0.877130164713 862i	3.322834 13976935 + 1.23407128017 118i	- 0.39471949811668 7 - 0.00612406281211 979i	0.004464 54794144412 - 0.2406079399 54914i

Untuk melihat nilai respon kanal secara lengkap, bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.2 Hasil Respon Kanal Link Bandung-Surabaya

h11	h12	h21	h22
kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
10.452337 2416986 + 14.03411950770 30i	- 0.983725787597 763 +	- 0.412338569140 707 +	2.903297 88072262 - 2.36580887957 686i

	2.702580590503 29i	2.327926095870 59i	
- 15.91430142245 47 + 19.12768599011 87i	- 2.206918022768 57 - 1.182205189854 83i	1.78581617 943567 - 0.059534757615 8525i	- 2.49195176345 566 + 0.22504300583 0164i
4.7767098 8697200 + 4.427702701582 82i	- 0.119033266275 394 - 1.611606868260 37i	- 0.469039121927 837 + 1.231663936579 79i	4.142028 82243916 - 2.72174529171 599i
0.4673140 00884663 + 4.522865502974 27i	2.75075591 974360 - 5.679064722450 00i	- 0.517752822657 814 + 2.138636695840 02i	- 2.84077994792 023 - 3.81037713812 828i
0.0361488 135653030 - 0.636540219833 653i	- 1.635767280632 08 + 0.867698829257 324i	- 1.135618051474 14 + 0.739184409434 836i	- 1.75740882154 871 - 1.22376398878 849i
- 0.097220484557 6171 + 0.827862534920 182i	- 0.477584323967 570 - 0.275835715507 453i	24.1710220 796154 - 3.517378339483 96i	- 98.0569630378 721 - 120.653305024 403i
0.4239161 38853142 - 0.180464176150 339i	- 0.492780113570 660 + 0.313468858454 399i	7.73047194 686167 - 5.476230486184 68i	18.90490 62344564 + 33.4058638152 798i
- 0.290311273741 067 + 0.743361266239 431i	0.04105494 51066655 - 1.043534396381 50i	- 24.49122072589 45 - 60.21109341022 54i	26.45179 86617994 + 6.60419397343 187i
- 0.313822615838 078 - 0.222594038377 352i	- 0.329883344457 998 - 0.056795306998 7547i	- 27.17869456219 74 - 21.95196178268 14i	21.15217 79788459 - 38.1077858368 973i

- 0.896531684299 278 + 0.744433876418 997i	- 0.286280817985 146 + 0.316908009627 010i	- 12.48449629688 15 + 6.093495618607 44i	4.091199 04174325 + 37.1992491141 457i
- 10.66777341719 38 - 39.53726858534 17i	8.58121005 420665 + 1.498097080288 35i	0.06884384 09967527 - 0.838166332055 636i	- 0.54113458916 5389 - 0.69699161643 2776i

Untuk melihat nilai respon kanal secara lengkap, bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.1 pada pengukuran link Surabaya-Malang menunjukkan nilai dari respon impuls kanal yang dihasilkan pada tanggal 4 dan 5 Oktober 2017. Sedangkan pada tabel 4.2 pada pengukuran link Bandung-Surabaya menunjukkan nilai respon impuls kanal yang dihasilkan pada tanggal 24, 25, 28, 29, dan 30 Agustus 2017. Nilai respon kanal ini berupa bilangan kompleks yang dapat dihitung nilai magnitudonya dan phasenya. Nilai magnitudonya akan menunjukkan besar kecilnya penguatan yang dialami sinyal informasi pada kanal tersebut sedangkan fasenya akan menunjukkan besar fase sinyal tersebut. Dapat dilihat nilai respon kanal yang sudah didapatkan, adanya peningkatan dan penurunan nilai respon kanal pada setiap pengambilan data. Ini dapat terjadi karena ada pengaruh pada kondisi kanal seperti lapisan ionosfer yang memantulkan propagasi yang terkirim, waktu pengukuran yang dilakukan juga berpengaruh dikarenakan kondisi siang dan malam mempengaruhi kepadatan ion pada lapisan ionosfer yang digunakan untuk memantulkan sinyal yang dikirim, dan faktor lainnya. Nilai respon kanal ini nantinya akan dipergunakan kembali untuk mencari kapasitas kanal.

4.2 Perhitungan Kapasitas HF MIMO Link Surabaya-Malang dan Bandung-Surabaya

Setelah mendapat nilai respon kanal h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} maka langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas kanal HF MIMO untuk link Surabaya-Malang dan Bandung-Surabaya. Perhitungan kapasitas ini dapat menggunakan persamaan 2.4 hingga 2.7 dengan rincian daya pancar sebesar 20 watt, kerapatan daya noise sebesar 5.96×10^{-6} W/Hz, dan energi simbol sebesar 1 joule. Hasil nilai kapasitas kanal

bisa dilihat tabel 4.3 untuk link Surabaya-Malang dan tabel 4.5 untuk link Bandung-Surabaya

Tabel 4.3 Kapasitas Kanal (bps/Hz) Link Surabaya-Malang

SISO				SIMO		MISO		MIMO
h11	h12	h21	h22	TX1	TX2	RX1	RX2	
11.6	15.3	9.4	13.3	9.9	13.5	14.7	12.4	12.4
16.9	18.8	10.7	12.3	16.6	18.5	17.5	12.2	18.4
12.6	15.7	11.7	12.6	9.7	16.2	15.3	13.0	17.3
19.3	15.2	11.8	11.3	19.1	14.5	17.6	8.2	19.5
18.4	14.7	12.4	13.8	18.4	12.5	17.8	13.9	21.7
16.0	17.5	7.0	12.3	16.2	17.0	16.1	11.7	18.4
15.3	16.7	10.8	13.7	15.7	17.3	16.8	13.3	19.1
15.6	17.7	12.1	12.8	15.6	18.2	16.6	10.6	20.1
14.1	16.3	12.0	10.1	12.9	16.6	15.4	12.1	18.1
15.1	16.2	11.4	12.9	15.8	15.1	16.2	10.9	19.1
10.8	16.3	12.9	13.4	13.4	15.1	15.7	13.2	18.6
15.1	15.0	12.1	9.4	14.7	15.1	16.1	12.0	15.5
19.3	19.4	12.9	12.9	19.6	19.7	20.2	13.4	19.8
20.0	21.0	14.7	13.2	20.4	20.9	18.8	14.1	25.8
19.4	20.4	13.1	11.5	19.3	20.4	20.9	10.4	23.8
18.6	20.3	13.7	13.5	18.9	20.5	19.1	8.5	23.5
19.5	18.5	11.4	11.8	19.6	18.6	19.2	12.4	19.7
18.3	19.1	9.1	12.1	18.2	19.1	15.2	11.7	20.4
18.2	18.3	11.9	13.2	18.3	18.2	18.6	13.5	19.5
15.6	18.4	9.0	11.5	15.3	18.2	17.7	10.1	15.7
16.7	18.9	10.9	14.6	17.1	19.0	16.1	13.6	20.9
14.4	19.1	12.9	13.0	12.1	19.4	17.7	13.9	21.8
20.7	20.8	14.3	13.2	20.6	20.9	20.8	14.0	25.9
18.9	20.6	14.3	13.0	18.9	20.7	20.9	11.1	25.1
18.4	20.9	14.9	11.9	17.6	21.0	20.7	13.4	25.6

17.6	19.1	16.3	10.9	17.5	19.0	18.5	15.0	24.6
18.6	17.9	14.1	13.3	18.9	18.0	19.3	14.7	18.3
17.3	20.9	15.4	13.0	16.2	20.9	20.3	14.1	25.4
18.2	19.7	14.7	14.9	18.6	19.1	18.8	15.8	24.7
16.9	19.0	15.2	12.9	15.2	19.2	16.9	13.7	23.7
17.4	19.9	15.1	14.8	15.6	19.9	17.4	14.8	24.5
20.1	19.7	14.2	10.4	19.8	19.8	20.2	12.3	23.8
20.6	21.3	14.8	12.5	20.3	21.4	22.0	13.5	26.1
17.6	22.3	15.1	13.3	17.8	22.4	21.0	14.5	27.0
20.7	21.0	13.3	12.2	20.7	20.9	19.4	13.6	24.1
20.7	20.9	13.6	13.4	20.6	20.8	21.7	14.4	19.2
20.2	21.6	15.8	12.5	20.7	21.6	19.7	14.4	26.9

Untuk melihat kapasitas kanal secara lengkap, bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.4 Kapasitas Kanal (bps/Hz) Link Bandung-Surabaya

SISO				SIMO		MISO		MIMO
h11	h12	h21	h22	TX1	TX2	RX1	RX2	
25.6	20.4	19.8	21.2	25.9	19.3	24.9	19.0	36.4
26.6	20.0	19.0	20.0	26.5	21.9	25.7	15.4	36.0
22.8	18.7	18.2	22.0	23.0	22.5	21.2	20.3	33.9
21.7	22.7	19.6	21.9	22.8	23.8	19.9	20.2	33.2
16.1	19.1	18.2	19.6	17.6	20.9	17.7	19.5	28.0
16.8	15.6	26.6	31.9	26.6	31.9	15.7	30.7	38.3
15.1	15.8	23.8	27.9	24.0	27.9	10.9	26.9	32.3
16.7	17.5	29.4	26.9	29.4	26.9	13.6	27.8	35.4
14.6	14.2	27.6	28.2	27.6	28.2	15.3	28.2	33.1
17.8	14.9	24.9	27.8	25.2	27.8	17.7	27.3	34.8
28.1	23.6	16.9	17.0	28.1	23.4	26.9	17.7	34.9
25.5	29.5	15.9	15.9	25.6	29.5	28.7	14.7	34.3

22.8	29.5	18.2	14.2	23.1	29.5	28.8	17.8	37.0
26.5	31.3	17.4	16.1	26.5	31.3	30.4	13.7	38.2
27.2	29.3	12.1	17.3	27.2	29.3	27.5	16.2	32.8
26.2	31.2	15.6	16.8	26.1	31.1	30.6	16.9	35.6
29.4	30.1	18.5	16.5	29.3	30.1	24.7	18.7	38.9
23.4	29.9	16.5	16.5	23.6	30.0	29.2	17.5	35.5
25.7	28.8	18.0	15.5	25.6	28.8	26.7	16.8	36.2
27.3	30.0	19.0	19.0	27.2	30.0	27.8	20.0	39.1
27.1	30.5	18.4	17.7	27.0	30.4	29.7	19.0	37.9
18.6	31.7	16.0	13.6	18.9	31.7	30.7	15.9	37.0
27.8	28.6	15.2	16.5	27.8	28.7	28.6	16.1	29.8
29.2	32.2	14.6	17.4	29.2	32.2	30.8	15.1	35.9
17.8	23.9	15.9	16.2	15.9	24.1	23.0	16.0	29.5
19.7	18.9	18.4	17.1	19.3	19.4	20.3	16.0	28.3
23.3	22.4	15.2	16.6	23.5	22.8	22.2	14.9	27.7
21.7	26.1	14.7	17.7	21.7	26.0	24.6	17.0	31.4
24.8	27.2	17.7	18.3	25.0	27.3	24.8	13.8	33.1
18.8	24.9	11.1	14.8	18.7	24.8	23.6	12.9	24.7
24.0	24.3	14.1	16.4	23.9	24.1	25.1	16.4	28.9
11.7	25.4	19.4	16.2	19.2	25.5	24.5	17.4	34.2
21.2	27.4	12.5	18.0	21.1	27.2	26.0	16.6	28.6
21.0	27.8	16.3	17.5	21.5	27.7	26.7	18.0	33.7
21.4	25.0	17.5	15.8	21.3	25.0	24.5	17.1	31.4
21.3	26.6	17.2	17.7	21.1	26.4	25.2	15.9	33.1
23.1	21.1	17.7	15.6	22.6	20.6	22.3	17.1	22.1
22.9	24.0	14.9	18.1	22.9	24.2	24.4	16.6	31.4
19.3	26.8	12.7	17.3	19.3	26.7	25.6	16.8	29.7
22.5	24.6	14.9	15.4	22.6	24.6	22.6	16.1	30.1
23.1	26.3	15.8	16.7	22.9	26.3	24.3	17.1	32.3

18.7	26.8	17.9	18.0	20.0	26.9	26.0	17.0	34.1
20.9	27.9	14.5	14.4	21.0	27.9	26.8	14.7	31.6
21.6	17.2	17.6	15.7	21.1	17.6	19.9	17.6	27.4
20.7	26.0	16.5	18.4	21.1	25.8	25.4	17.1	32.5
21.6	22.6	15.4	17.5	21.7	22.3	23.0	14.9	29.9
21.0	23.6	16.1	17.2	20.6	23.8	23.6	14.8	30.4
24.3	27.6	16.3	16.9	24.2	27.6	26.6	16.1	31.9
19.1	26.1	17.1	18.0	20.2	26.6	25.5	14.6	33.1
20.7	26.9	16.4	17.7	20.1	27.0	26.1	15.3	32.6
22.0	26.1	15.8	18.7	21.7	25.9	25.4	17.6	30.0
18.1	25.6	16.5	14.2	17.5	25.5	24.8	16.3	31.3
21.3	26.2	17.4	17.1	20.5	26.2	25.5	14.8	32.9
23.1	25.7	17.8	17.0	22.6	25.7	25.7	17.4	33.1
21.1	26.3	18.8	15.3	19.9	26.3	25.5	17.2	34.5
23.4	23.5	16.8	12.3	23.1	23.5	23.9	15.2	29.6
23.4	23.5	16.8	12.3	23.1	23.5	23.9	15.2	29.6
21.9	23.7	15.7	18.7	22.1	23.4	23.6	17.4	31.4
15.5	23.4	16.1	17.4	15.7	23.2	22.6	15.7	29.0
25.7	22.7	15.0	11.0	25.7	22.7	25.4	14.3	25.3
26.0	22.8	15.0	17.8	26.1	23.0	24.2	16.6	33.2
26.1	20.3	16.5	17.3	26.1	21.0	25.2	17.7	32.5
23.8	24.2	14.2	13.3	23.9	24.2	24.7	9.9	28.7
25.0	23.5	18.3	18.5	25.0	23.6	24.2	18.7	34.1
20.0	25.2	19.3	15.9	18.5	25.3	24.2	10.1	33.9
26.8	26.2	18.3	17.7	26.7	26.4	27.5	13.1	35.8

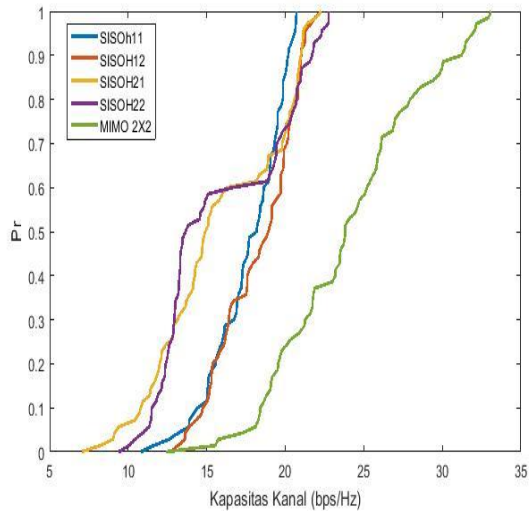
Untuk melihat kapasitas kanal secara lengkap, bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.3 menunjukkan hasil kapasitas kanal link Surabaya-Malang sedangkan pada tabel 4.4 menunjukkan hasil kapasitas kanal link Bandung-Surabaya. Dari kedua tabel diatas konfigurasi MIMO memiliki

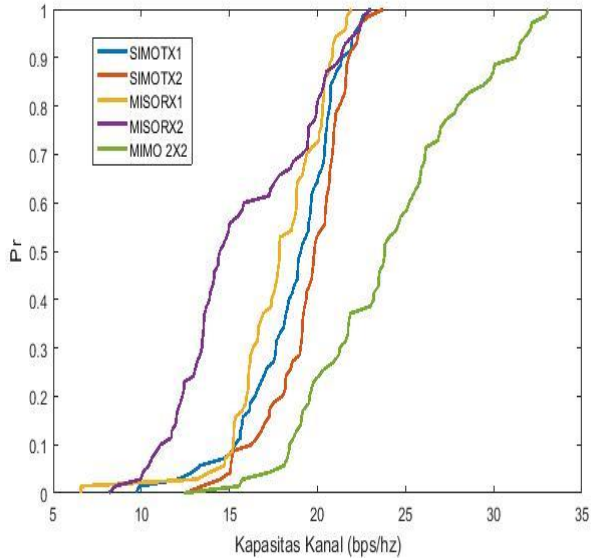
rata-rata nilai kapasitas kanal yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi lainnya dengan nilai kapasitas sebesar 24.0292 bps/Hz untuk link Surabaya-Malang dan 32.4151 bps/Hz untuk link Bandung-Surabaya. Setelah MIMO, konfigurasi SIMO berada pada posisi kedua dengan rata-rata nilai kapasitas kanal paling besar sebesar 19.4613 bps/Hz untuk link Surabaya-Malang dan 25.3297 bps/Hz untuk link Bandung-Surabaya. Sedangkan pada konfigurasi MISO rata-rata nilai kapasitas kanal paling besar sebesar 17.7607 bps/Hz untuk link Surabaya-Malang dan 24.0479 bps/Hz untuk link Bandung-Surabaya. Khusus untuk konfigurasi SISO yang dimana pada penelitian ini terdapat empat nilai, rata-rata nilai kapasitas kanal yang paling besar sebesar 18.2085 bps/Hz pada kanal h12 pada link Surabaya-Malang dan 24.1251 bps/Hz pada kanal h12 untuk link Bandung-Surabaya. Variasi waktu siang dan malam berpengaruh terhadap nilai kapasitas kanal sama seperti nilai respon impuls kanal.

4.3 Perbandingan Nilai Kapasitas Konfigurasi MIMO, MISO, SIMO, dan SISO

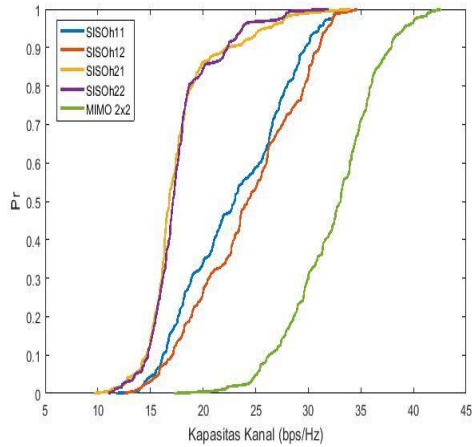
Setelah mencari nilai kapasitas kanal pada semua konfigurasi, perlu mencari kemungkinan (probabilitas) berapa nilai kapasitas kanal yang sering muncul pada beberapa kali pengujian. Hasil akhirnya berupa plot grafik CDF (*Cumulative Density Function*). Hasil dari grafik CDF bisa dilihat pada gambar 4.1 untuk link Surabaya-Malang dan gambar 4.2 untuk link Bandung-Surabaya. Sumbu X menjelaskan tentang berapa besar kapasitas kanal yang terhitung pada hasil perhitungan. Sedangkan sumbu Y pada grafik merupakan probabilitas Pr, atau probabilitas nilai kapasitas kanal tersebut muncul pada hasil pengukuran. Apabila semakin mendekati nilai satu pada sumbu Y, maka probabilitas nilai kapasitas kanal tersebut muncul akan semakin sedikit. Grafik CDF sangat berguna untuk mempermudah melihat probabilitas suatu nilai muncul pada tiap kejadian yang terjadi, sehingga dapat validasi nilai kapasitas yang terukur pada saat implementasi kedepannya. Pada setiap link pengukuran terdapat dua grafik CDF, dengan masing-masing gambar menampilkan perbandingan konfigurasi yang berbeda. Satu gambar menampilkan perbandingan konfigurasi SISO dengan MIMO, gambar lainnya menampilkan perbandingan konfigurasi SIMO, MISO, dan MIMO. Dengan begini hasil yang terlihat memudahkan pembaca untuk memahami grafik CDF yang ditampilkan.



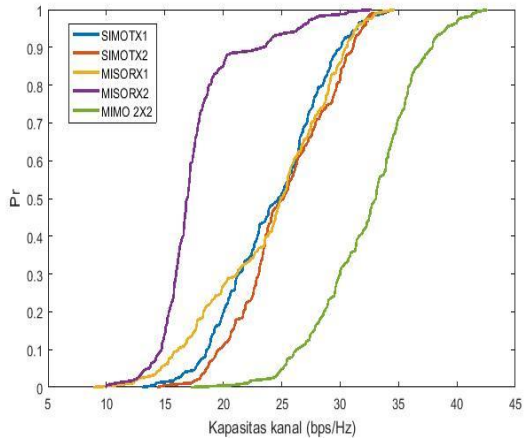
Gambar 4.1 Grafik CDF SISO dan MIMO SBY-MLG



Gambar 4.2 Grafik CDF SIMO, MISO, dan MIMO SBY-MLG



Gambar 4.3 Grafik CDF SISO dan MIMO BDG-SBY



Gambar 4.4 Grafik CDF SIMO, MISO, dan MIMO BDG-SBY

Dari kedua grafik diatas, terlihat bahwa probabilitas MIMO lebih besar dibandingkan metode yang lainnya. Dilanjutkan konfigurasi SIMO yang dimana secara teoritis lebih baik setelah MIMO. Dilanjutkan dengan konfigurasi MISO. Pada konfigurasi SISO, dari keempat

konfigurasi yang ada yaitu h11, h12, h21, dan h22 menghasilkan nilai kapasitas kanal yang berbeda-beda.

Dari hasil uji statistik, baik untuk link Surabaya-Malang maupun Bandung-Surabaya dapat dibandingkan bahwa konfigurasi MIMO 2x2 memiliki nilai kapasitas kanal yang lebih besar dibanding konfigurasi lainnya. Terbukti dengan nilai P-Value yang melebihi angka 0.05. Untuk hasil lebih lengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.5 untuk link Surabaya-Malang dan 4.6 untuk link Bandung-Surabaya. Uji statistik ini dilakukan dengan menggunakan metode $(\mu_1 - \mu_2) = D_0$, dengan $D_0 = 0$.

Tabel 4.5 Uji statistik Surabaya-Malang

No	μ_1	μ_2	$(\mu_1 - \mu_2) = 0$	Estimate for Difference
1	SISO(h11)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-6,431
2	SISO(h12)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-5,821
3	SISO(h21)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,213
4	SISO(h22)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,087
5	SIMO(TX1)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-5,482
6	SIMO(TX2)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-4,568
7	MISO(RX1)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-6,269
8	MISO(RX2)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,274

Tabel 4.6 Uji statistik Bandung-Surabaya

No	μ_1	μ_2	$(\mu_1 - \mu_2) = 0$	Estimate for Difference
1	SISO(h11)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-9,436
2	SISO(h12)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,290
3	SISO(h21)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-14,748
4	SISO(h22)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-14,726
5	SIMO(TX1)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,082
6	SIMO(TX2)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-7,085
7	MISO(RX1)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-8,367
8	MISO(RX2)	MIMO	Ditolak (p-value=0.0)	-14,752

Dari hasil uji statistik diatas, terlihat yang memiliki nilai dengan p-value lebih kecil dari 0.05 yang berarti apabila membandingkan dengan konfigurasi lainnya konfigurasi satu dengan konfigurasi lainnya memiliki nilai kapasitas yang jauh berbeda. Dengan melihat nilai pada kolom estimate of difference, terlihat bahwa nilainya dalam satuan minus yang berarti μ_2 (konfigurasi MIMO) lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya.

4.4 Sintesis

Berdasarkan hasil pengolahan data pada subbab sebelumnya, didapatkan hasil bahwa sistem komunikasi *High Frequency (HF)* dengan menggunakan konfigurasi MIMO 2x2 memiliki nilai kapasitas kanal yang paling besar dibandingkan konfigurasi SIMO, MISO, maupun SISO. Artinya dengan menggunakan konfigurasi MIMO 2x2 informasi yang dilewatkan pada suatu kanal akan semakin banyak. Dengan Perbandingan

nilai kapasitas yang terendah dengan nilai kapasitas pada konfigurasi MIMO, akan terjadi peningkatan hampir dua kali lipat. Apabila kita melihat dari nilai respon kanal baik pada pengukuran link Surabaya-Malang maupun Bandung-Surabaya, baik pada kanal h11, h12, h21, maupun h22 memiliki nilai yang berbeda satu dengan yang lainnya. Apabila semakin besar nilai suatu respon kanal, maka kemungkinan nilai kapasitas kanal yang terukur akan semakin besar juga. Terlihat dari hasil pengukuran bahwa waktu pengukuran yaitu siang maupun malam berpengaruh terhadap nilai yang dihasilkan.

Dari hasil perhitungan kapasitas, terhitung bahwa kapasitas kanal MIMO Lebih besar dibandingkan konfigurasi lainnya dengan rata-rata kapasitas kanal sebesar 24.03 bps/Hz pada pengukuran Surabaya-Malang dan 32.42 bps/Hz pada pengukuran Bandung-Surabaya. Apabila dibandingkan dengan konfigurasi SISO yang umum digunakan, dengan rentang nilai minimum hingga maksimum kapasitas kanal yang terukur 15,8-18,2 bps/Hz untuk link Surabaya-Malang dan 17,7-24,1 bps/Hz untuk link Bandung-Surabaya, maka terjadi kenaikan nilai kapasitas sebesar 1,5 hingga 2 kali peningkatan. Perlu diingat bahwa hasil kapasitas yang terhitung merupakan hasil nilai maksimal hasil perhitungan. Apabila diimplementasikan dalam kenyataan (throughput) bisa berbeda.

Dari hasil uji statistik yang dilakukan juga didapatkan dengan hipotesis ($\mu_1 - \mu_2$) = 0 didapatkan bahwa pada konfigurasi MIMO 2x2 memiliki mu yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi lainnya dengan nilai estimate of difference bernilai minus baik link Bandung-Surabaya maupun link Surabaya-Malang, yang berarti dengan menggunakan metode MIMO 2x2 terjadi peningkatan kapasitas. Dari nilai estimate of difference, perbedaan yang terjadi cukup besar. Dengan rentang mu terendah hingga terbesar yaitu 4.500-14.750. Ini membuktikan bahwa kapasitas MIMO memiliki perbedaan nilai yang sangat jauh dibandingkan konfigurasi lainnya.

Pada penelitian ini memang tidak dilakukan uji yang dimana pada kondisi SNR yang berbeda. Karena Fokus dari penelitian ini adalah seberapa besar peningkatan kapasitas kanal MIMO dengan konfigurasi SISO, MISO, dan SIMO.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian tinjauan pustaka, pengukuran, perhitungan dan analisa maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Kapasitas Kanal MIMO Lebih besar, dilanjutkan dengan konfigurasi SIMO dan MISO dengan selisih perbedaan yang tidak jauh, dan terakhir konfigurasi SISO. Hasil ini sesuai dengan hasil yang dijelaskan oleh Alamouti.
2. Pengukuran Bandung-Surabaya lebih baik daripada pengukuran Surabaya-Malang berdasarkan dari nilai rata-rata kapasitas kanal yang terhitung.
3. Sistem komunikasi HF dengan konfigurasi MIMO memiliki peningkatan maksimal sebesar dua kali lipat
4. Jarak pengukuran antara posisi TX dan RX berpengaruh terhadap nilai kapasitas karena pada jarak yang lebih dekat (kurang dari 100 Km) propagasi yang dikirim bisa berupa *groundwave*.
5. Kondisi siang dan malam berpengaruh pada besar kecilnya nilai respon kanal yang terukur yang berakibat pada besar kecilnya nilai kapasitas yang terhitung apabila menggunakan frekuensi pengukuran yang konstan.

5.2 Saran

Dalam melakukan pengembangan sistem komunikasi HF MIMO 2×2 kedepannya, dapat diperhatikan beberapa hal berikut:

1. Melakukan pengukuran lebih lanjut dengan mengambil jumlah data dan kondisi pengambilan data yang relatif sama antar pengukuran, baik dengan link pengukuran yang berbeda maupun link pengukuran yang sama.
2. Mencari Metode peningkatan kapasitas kanal yang dapat digunakan pada sistem komunikasi HF.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- [1] Rappaport, Theodore S, “Wireless Communication Principles and Practice”. Prential Hall, USA. 2002
- [2] L.F. McNamara, “The Ionosphere: Communications, Surveillance, Direction Finding”. Krieger Publishing Company, Florida, 1991.
- [3] Freeman, Roger L , Radio System Design for Telecommunication, USA: John Wiley & Son, 2007.
- [4] Foose, B.“High Frequency Communication – an introductory overview,” HIARC meeting. 2012.
- [5] Australian Government. “IPS Radio and Space Service, Introduction to HF Radio Propagation.pdf” Sidney, Australia. 2007.
- [6] Davies, Kenneth. “Ionospheric Radio”. Peter Peregrinus Ltd. United Kingdom. 1990.
- [7] Ben A. Witvliet, “ The importance of circular polarization for diversity reception and MIMO in NVIS propagation”, IEEE The 8th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP 2014), 2014.
- [8] Alamouti, S.M. “A simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications”. IEEE Journal on select Area in Communications, Vol. 16, No.8, 1998.
- [9] Isma Choiriyah. “Analisa Korelasi Kanal dan Kapasitas HF MIMO NVIS”. Elektro ITS, Surabaya, 2017
- [10] William Mendenhal, Robert J.Beaver, Barbara M.Beaver. “Introduction to Probability and Statistics”. BROOKS/COLE, USA, 2013
- [11] J. G. Proakis and Masoud Salehi, “Digital Communication 5th edition”. Mc Graw Hill, New York, 2008.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran



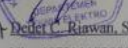
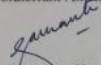
A. Lembar Pengesahan Proposal

07 SEP 2017

Nama Mahasiswa	: Rizal Satria Eka Nugraha
Nomor Pokok	: 2213 100 189
Bidang Studi	: Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan	: Semester Ganjil Th. 2017/2018
Dosen Pembimbing	: 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng, Ph.D 2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Judul Proposal Tugas Akhir : **Evaluasi Kapasitas Kanal Sistem Komunikasi High Frequency (HF) MIMO 2x2 dengan Skema Alamouti (Channel Capacity Evaluation of 2x2 Multi Input Multi Output High Frequency Communication System)**

Uraian Proposal Tugas Akhir :
High Frequency (HF) merupakan sistem komunikasi menggunakan gelombang radio yang bekerja pada frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 1-10 m. HF biasanya digunakan untuk radio komunikasi jarak jauh karena sifat gelombangnya dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer, yakni mampu mengirimkan sinyal 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan repeater. Sistem komunikasi HF memiliki kelebihan karena menggunakan peralatan yang relatif murah dibandingkan dengan sistem komunikasi yang lain. Namun komunikasi HF ini bergantung pada kondisi ionosfer. Faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi lapisan ionosfer yaitu ketinggian lapisan ionosfer, lokasi secara geografis, aktivitas matahari, cuaca bumi, dan sebagainya. Karena beberapa kondisi yang fluktuatif tersebut, maka diperlukannya suatu metode MIMO 2x2 yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas kanal dan kualitas kinerja sistem komunikasi. Pada sisi pemancar dan penerima masing masing memiliki 2 antena untuk metode Multi Input Multi Output (MIMO). Proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan skema Alamouti dapat memperhitungkan parameter SNR (Signal to Noise Ratio), delay, dan Bit Error Rate (BER) pada receiver.

Dosen Pembimbing I,	Dosen Pembimbing II,
 <u>Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.</u> Nip: 197011111993031002	 <u>Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.</u> Nip: 196109031989031001
Mengetahui, Ketua Program Studi S1	Menyetujui, Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi
 <u>Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.</u> Nip: 197311192000031001	 <u>Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendratoro, Ph.D.</u> Nip: 197011111993031002

B. Script Program Matlab Perhitungan Kapasitas Kanal

pt = 20 ; % daya pancar

h11 =

h12 =

h21 =

h22 =

```

pete = 1/(sqrt(pt));           %satu per akar daya pancar
H = pete.*[h11 h12;h21 h22]; %matriks MIMO 2x2
Hh = H';                      %transpose conjugate matriks MIMO
2x2
matriksH = H*Hh;              %perkalian matriks
Es = 1;                        %Epsilon S,energy per symbol bit
(Jumlah bit yang terkirim??)
penoise = 0.00000596;
kali = (Es/(2*penoise)).*matriksH; %perkalian daya noise
dengan hasil kali matriks
jumlah = eye(2,2) + kali;      %penjumlahan matriks
identitas (1) dan matrik kali
detjum = det(jumlah);          %determinan dari jumlah
kapasitasMIMO = log2(detjum);

%Menghitung Kapasitas SIMO
kapasitasSimo1 =
log2(1+((Es/penoise)*((abs(h11+h21))^2)));
kapasitasSimo2 =
log2(1+((Es/penoise)*((abs(h12+h22))^2)));

%Menghitung Kapasitas MISO
kapasitasMiso1 =
log2(1+((Es/(penoise*2))*((abs(h11+h12))^2)));
kapasitasMiso2 =
log2(1+((Es/(penoise*2))*((abs(h21+h22))^2)));
%kapasitasMiso = log2(det(1+(Rss.*((h11+h12)/penoise))));

%Menghitung Kapasitas SISO
C11 = log2(1+((Es/penoise)*((abs(h11))^2)));
C12 = log2(1+((Es/penoise)*((abs(h12))^2)));
C21 = log2(1+((Es/penoise)*((abs(h21))^2)));
C22 = log2(1+((Es/penoise)*((abs(h22))^2)));

```

C. Nilai Respon kanal Link Surabaya-Malang

h11	h12	h21	h22
kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
- 0.0226534861 800103 + 0.1348915422 00463i	- 0.4647159379 80099 + 0.1551897294 65882i	- 0.00329263793 432758 - 0.06369555335 58710i	0.2453623282 80421 - 0.0179160294 425138i
0.6283492971 34542 - 0.5843737655 06741i	- 1.5100335257 7228 - 0.6312383714 68958i	- 0.03744226014 84033 + 0.09190444384 69509i	0.1144924843 04840 + 0.1331704211 74605i
0.1836344398 30831 + 0.0586915206 066542i	0.1290142877 09912 + 0.5484068220 30743i	- 0.13852885151 2924 - 0.00555177555 101667i	- 0.1444164228 63715 + 0.1293656929 95259i
0.0415765549 190670 + 1.9381570087 2291i	0.2206437923 81548 - 0.4151550287 18775i	0.04637835685 63321 - 0.13867848953 5143i	0.0098470208 3605597 + 0.1239128615 87951i
- 0.1329561515 94028 - 1.4255008361 3574i	0.3008369462 18063 - 0.2704979738 16132i	- 0.17450668573 2756 + 0.03754008055 68553i	- 0.1158574165 39607 + 0.2677834835 46866i
- 0.6179497702 98954 - 0.1374458317 12012i	0.7351679816 68330 - 0.7553638611 71519i	- 0.02751586980 35327 + 0.00398599476 285108i	- 0.1286194943 33116 + 0.1199755027 73581i
0.0696616003 026018 + 0.4868836636 25571i	- 0.5610817564 65620 + 0.5664654702 64114i	- 0.06224672931 61207 + 0.08258849449 59028i	0.0713816206 685094 + 0.2689241491 43690i

0.2315841312 99716 + 0.4871022604 76338i	0.8297064798 63498 - 0.7694612717 06509i	- 0.15349503568 5700 + 0.05604028249 58102i	0.0988964985 575892 - 0.1798286516 63648i
- 0.3264899775 30946 + 0.0319981463 032397i	0.1823426311 76859 + 0.6600765077 39072i	0.13996804699 3756 + 0.06894722322 85533i	0.0377615429 222405 + 0.0699972836 896126i
- 0.4114191987 38093 + 0.1845955417 33116i	- 0.0062537024 6016011 + 0.6655091511 56483i	- 0.10774968100 7507 + 0.06442316430 77752i	0.0581358034 981491 - 0.2043347349 77009i
0.0937418346 864733 + 0.0438822566 344246i	0.6526855515 82857 + 0.2640249770 36935i	0.11731201625 9230 - 0.17798706546 9651i	- 0.2180296299 90868 - 0.1367227210 93591i
0.4449030414 73762 + 0.1253836180 85333i	0.4260578949 43040 + 0.1390878341 83551i	- 0.05026397718 11250 - 0.15474267720 7163i	0.0184721330 642003 - 0.0605921245 025976i
1.8862880743 4320 + 0.5509235529 28704i	1.9523764767 1375 - 0.5202293409 84085i	0.16281864629 6563 + 0.13511806465 1281i	0.1979815451 04864 - 0.0786139923 338583i
- 2.3403954879 6786 + 0.8771301647 13862i	3.3228341397 6935 + 1.2340712801 7118i	- 0.39471949811 6687 - 0.00612406281 211979i	0.0044645479 4144412 - 0.2406079399 54914i
- 1.2110158199 8106 + 1.6036483188 5401i	- 1.1343378129 9327 + 2.6094230699 1327i	0.20662394085 0001 + 0.10510817290 7585i	- 0.1309179528 62805 - 0.0014428089 7782924i

1.3977208612 4701 + 0.6197261241 22288i	- 1.9185662532 1440 + 1.9603298176 9045i	0.24920831348 6177 - 0.13064058768 1524i	- 0.2514515615 52301 + 0.0643443262 952793i
- 1.5566396003 8821 - 1.4238498118 2657i	0.9196196439 24111 - 1.1821130423 7266i	- 0.12773720643 8333 - 0.00451994115 458396i	- 0.1043807212 65803 - 0.1002908850 79020i
- 1.2546210960 1186 + 0.6150114821 54311i	1.3451247816 4536 - 1.2851240716 8380i	0.05744092615 06288 + 0.00291296401 132559i	0.0829625479 476055 + 0.1407031469 30010i
- 1.2222433652 8458 + 0.5161977788 68793i	- 0.8687111989 45514 - 1.0905606452 7418i	0.00085705605 3669598 + 0.15326184641 2777i	- 0.1371952155 63527 + 0.1974279286 03229i
- 0.4060590765 37142 - 0.3654906192 18250i	0.7814731296 16085 - 1.1785080132 4566i	0.03844504750 57461 + 0.04063908417 77007i	- 0.1280665748 14462 + 0.0293668020 810859i
0.8054964397 51121 - 0.0449047875 265548i	- 1.7080240623 5031 + 0.1601966665 43396i	0.10798669316 6198 + 0.00304179753 506519i	- 0.0647715198 657386 - 0.3791201245 36613i
0.3348791055 88508 - 0.1355990344 22960i	- 1.7198803375 0858 - 0.6954258918 17915i	- 0.17199123022 6153 + 0.12023896716 6370i	- 0.1899809778 39857 + 0.1069679836 99886i
- 0.2920377435 04765 -	3.2728688753 4452 - 0.4703488323 00904i	0.32968545117 9703 + 0.09551385732 40135i	0.1032892952 12965 - 0.2116993711 23473i

3.2117120798 7261i			
- 1.7223429079 1030 - 0.1667783456 22151i	- 2.9480428956 2195 - 0.7599317442 30398i	- 0.10915405888 6562 - 0.32288529957 0024i	- 0.1462983676 29433 + 0.1665005601 04488i
- 1.2575583850 9107 + 0.6940237942 05809i	- 3.1387903423 0054 - 1.4312499463 4018i	- 0.42925796168 5542 + 0.01481628556 50884i	- 0.0831449754 588832 - 0.1250459614 34395i
0.9744177260 79728 - 0.4694726456 44625i	- 0.8737560074 98777 - 1.6417028165 4664i	- 0.50144704096 7564 - 0.47329652848 5540i	0.0070644649 3956917 + 0.1071256901 68928i
1.0791488124 7848 + 1.1207490889 6891i	0.7174735235 18124 + 0.9953568867 99682i	- 0.14619660366 6942 + 0.29432971597 3240i	- 0.1970153197 93447 + 0.1463277844 49573i
- 0.6409451729 58869 + 0.7262358014 08580i	- 3.3486613904 1051 - 0.6910821309 94751i	0.49313129606 5573 - 0.07956656664 49496i	- 0.0488538074 729660 + 0.2147523441 25142i
- 1.1247039365 7614 - 0.7425648351 58449i	1.6964709183 6361 - 1.5070088563 5018i	- 0.32072317782 0332 + 0.24442180564 3380i	- 0.3069448854 99460 + 0.2997934138 90100i
- 0.7092230123 32636 + 0.4656196280 05419i	1.7836757108 8509 + 0.0975334523 192537i	0.24539597531 4002 - 0.41350218714 0734i	0.0896922762 143386 + 0.1972014699 08708i
0.7731516358 85976 -	- 1.8777094007	- 0.38140075673	- 0.1930811277

0.6356340001 66773i	1139 + 1.5450719367 6112i	1967 + 0.25016414566 0404i	20912 - 0.3699098303 79170i
- 0.8456135885 86725 - 2.4608205506 3974i	1.9438878037 0373 - 1.1815348410 9059i	- 0.03406179584 65512 + 0.32751052480 7213i	0.0431862854 250836 - 0.0799435594 794407i
- 3.1038875951 0671 + 0.3223612975 38190i	- 3.6479694313 5333 + 1.3797305105 8034i	0.40246379283 4557 + 0.08115450776 87170i	- 0.1117307733 11501 + 0.1518083808 65590i
- 0.5692050941 63936 - 0.9403064927 86735i	5.5404943995 1342 - 0.0578181183 949809i	- 0.38815596628 6261 + 0.23948880461 1968i	0.1304221071 75439 + 0.2085914615 81627i
- 3.1203251781 2348 + 0.5596874593 75493i	1.7802939946 9673 - 3.0711498560 7548i	0.03713640499 45548 + 0.24298320283 9551i	- 0.0943247989 165893 + 0.1352518021 15201i
- 2.7851007820 6100 - 1.4671244733 5626i	- 1.6073900509 4002 - 3.0648002980 9696i	0.22997962539 7792 - 0.15317920526 3690i	0.2499872378 33405 + 0.0038760073 2389287i
0.3946051869 46763 + 2.6426145832 3313i	2.6612225604 1760 - 3.4936139987 5564i	0.28558049586 8020 + 0.50792381021 1838i	- 0.1847172844 02050 - 0.0165029288 251945i
0.4111558103 90303 + 2.0325142387 5839i	0.7521749591 13458 - 3.1958565275 7786i	2.79174733993 322 + 2.88247459810 651i	0.7310643619 07709 - 3.5405101865 4299i
2.7418658263 4490 -	2.8866308506 4160 -	- 3.02218452654	- 2.7654162739

0.7875875895 98920i	1.5854902354 7073i	765 - 2.06941394378 323i	9089 + 5.9187862902 9922i
2.1345270183 4147 + 2.0856990945 5293i	0.9052780942 01769 + 3.4100415807 9221i	0.86627273348 9728 - 3.32145571004 385i	2.2265339635 1231 - 4.1334340134 8787i
- 2.2685981622 4074 - 0.2305465226 57410i	- 1.5802479844 9392 + 2.4337289033 9110i	- 0.73069667921 3219 - 2.42731055820 875i	- 3.0891046522 4168 + 1.0064049095 5552i
0.7051912338 05925 + 2.6158903271 3752i	- 0.0228530679 627245 - 2.5831306038 0620i	- 2.49605825349 267 + 2.49863572365 445i	4.1630134404 0482 - 1.0681967759 0305i
- 1.8817290126 0274 - 1.4444031191 8989i	- 0.2577908731 74688 + 1.0495856616 6635i	- 0.03318502601 83079 + 1.32111950856 270i	- 2.6964480713 4317 + 0.8810046576 53134i
- 0.3163621434 92664 - 2.0950609317 4878i	- 1.5167719314 0393 + 3.5559560156 4124i	- 0.39516428554 4103 + 2.50162737422 325i	- 1.6964798311 5230 - 0.4661981881 57866i
1.7002531194 6390 + 0.6147472804 93264i	1.8211476747 1416 + 1.3325613845 6103i	- 0.60253725537 1505 + 1.61608108312 703i	1.9670425849 0513 - 0.6531659635 24724i
0.0228966794 814352 - 1.7739134743 0196i	- 1.5454441376 7736 - 1.8250199438 8884i	- 2.95187977467 600 + 1.46138377349 159i	- 0.5000082562 32480 - 3.1604647005 4540i
- 1.5303669610	2.0026189179 1975 -	0.08999321733 27249 +	2.5726943224 9094 +

4224 - 1.8277893609 0517i	1.7796685110 6039i	2.73740996101 191i	2.3888449137 1587i
- 1.8817290126 0274 - 1.4444031191 8989i	0.2577908731 74688 + 1.0495856616 6635i	- 2.48985489878 511 - 4.27023819924 120i	0.7913695108 22400 - 4.4406877143 6614i
- 0.3163621434 92664 - 2.0950609317 4878i	- 1.5167719314 0393 + 3.5559560156 4124i	5.21336986299 432 + 1.85320826560 137i	4.1216320741 7776 - 5.0371163826 3181i
1.7002531194 6390 + 0.6147472804 93264i	1.8211476747 1416 + 1.3325613845 6103i	2.29837019162 832 + 2.32014065292 620i	- 4.9146284027 0388 - 2.4644565742 7656i
0.0228966794 814352 - 1.7739134743 0196i	- 1.5454441376 7736 - 1.8250199438 8884i	- 1.67403605815 811 + 0.31012008788 4770i	5.6163999717 6596 + 0.2813556506 20611i
- 1.5303669610 4224 - 1.8277893609 0517i	2.0026189179 1975 - 1.7796685110 6039i	- 2.55960972868 974 - 2.67881575645 122i	3.2415636828 3310 - 5.6098195285 1611i
0.4359918310 83363 - 0.0703215253 169963i	- 0.1637237619 44288 - 0.2530530424 92944i	- 1.17933857497 856 - 0.75756963827 0631i	4.4833548149 4911 + 1.2789602702 7447i
0.5291317382 04420 + 0.3805500391 97867i	0.1101638700 49196 + 0.3787582797 33871i	- 0.45566504993 3233 + 3.57314561982 231i	- 2.1996740105 7948 - 2.3957958097 8050i

- 0.4205514216 43346 + 0.1603538290 92694i	- 0.0032224225 0455755 + 0.3462614196 33458i	3.23332166262 426 - 0.36616807619 6799i	1.5749507535 6741 - 2.4792630877 0555i
- 0.3336353610 91407 + 0.3105272558 34660i	- 0.2219640910 80687 + 0.0779376631 549836i	- 2.50803689963 772 - 2.27416284904 040i	- 2.4163390542 9364 + 1.1702606449 1808i
0.1514703891 30024 + 0.1800276355 47573i	- 0.1293636665 46356 + 0.1481395110 01897i	- 1.65232744492 142 + 0.28693336767 2447i	2.3704118526 2457 + 0.0746372314 150220i
- 1.9289315677 2994 - 1.7033517435 7598i	2.3411471566 8024 - 0.6368330756 23269i	0.06763583807 62938 - 0.05875335971 45633i	- 0.1240433705 43372 - 0.0345572156 490729i
- 1.1165947883 8963 + 0.1514527455 96295i	2.9153209491 8559 - 3.8566509865 4002i	0.03017977565 19845 + 0.02909479509 66201i	0.1244905439 76718 + 0.1282217414 65138i
0.2379491667 65424 - 0.9462706651 74080i	- 0.1189899785 11625 - 0.4746053181 87466i	2.72924156390 559 + 0.45874856197 8988i	2.7098543516 7501 + 2.2964985333 7268i
- 0.3951229985 37113 + 0.4137834795 31108i	0.9239049528 52138 + 0.5518360261 52210i	1.67607730614 015 + 2.55291973865 971i	- 3.0677476480 4266 + 0.6443559930 55642i
- 0.8938916794 99930 +	0.6073846133 96173 + 0.2268264308 95103i	- 2.66068919003 569 +	1.3828763148 3368 - 0.9813671656 64905i

0.6681847607 22243i		2.62073101755 593i	
0.9395653936 98191 + 0.1802234550 45487i	- 0.3863761264 60782 - 0.3171892450 84238i	1.29904686869 374 - 3.03851329257 763i	- 0.9485308570 43964 + 1.7226380633 5291i
- 0.3205287947 00118 + 0.5145924608 06470i	0.3069139093 35098 + 0.3483244571 67337i	- 2.24472950431 003 + 0.92019629881 5949i	- 1.2701715328 6758 + 1.4159874412 2938i
- 0.8850350186 54574 - 0.1000503064 85326i	- 0.0206382726 654421 - 0.4974159548 78609i	2.60394081318 576 + 1.42370216882 329i	- 2.2367623352 7997 + 0.0571721381 268874i
- 0.2264836362 90382 + 0.1971127995 42650i	0.1933296294 69715 - 0.1932156199 67320i	2.31156141521 042 - 0.28044933687 0394i	0.0805402782 769230 + 2.0399107507 3391i
- 0.2264836362 90382 + 0.1971127995 42650i	0.1933296294 69715 - 0.1932156199 67320i	2.31156141521 042 - 0.28044933687 0394i	0.0805402782 769230 + 2.0399107507 3391i
0.7317105942 27787 + 0.4518814607 19205i	- 0.4213141592 97665 + 0.4117959025 45294i	- 0.23310179481 9861 + 0.26496719159 8581i	- 0.2133196575 20097 + 0.3140374411 16187i
- 0.0257229242 087738 - 1.5394754273 5267i	- 0.0636277264 520626 - 0.7250094935 75473i	0.18932597882 7897 + 0.23759015529 6476i	- 0.2515096676 91483 + 0.3831654968 35173i
0.4291127421 40198 +	0.4442714857 93895 -	- 0.32835721354	0.2263408136 99369 +

0.4967070583 88480i	0.5646472770 08229i	0972 + 0.22651523241 3037i	0.0762526738 510180i
0.7482373716 65392 - 0.5811248662 95133i	0.6589972157 35189 - 0.3455209580 22926i	- 0.20831131259 8603 - 0.58701132452 2698i	- 0.4256875524 10190 - 0.6658126724 56248i

D. Nilai Respon kanal Link Bandung-Surabaya

h11	h12	h21	h22
kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
10.452337241 6986 + 14.034119507 7030i	- 0.9837257875 97763 + 2.7025805905 0329i	- 0.41233856914 0707 + 2.32792609587 059i	2.90329788072 262 - 2.36580887957 686i
- 15.914301422 4547 + 19.127685990 1187i	- 2.2069180227 6857 - 1.1822051898 5483i	1.78581617943 567 - 0.05953475761 58525i	- 2.49195176345 566 + 0.22504300583 0164i
4.7767098869 7200 + 4.4277027015 8282i	- 0.1190332662 75394 - 1.6116068682 6037i	- 0.46903912192 7837 + 1.23166393657 979i	4.14202882243 916 - 2.72174529171 599i
0.4673140008 84663 + 4.5228655029 7427i	2.7507559197 4360 - 5.6790647224 5000i	- 0.51775282265 7814 + 2.13863669584 002i	- 2.84077994792 023 - 3.81037713812 828i
0.0361488135 653030 - 0.6365402198 33653i	- 1.6357672806 3208 + 0.8676988292 57324i	- 1.13561805147 414 + 0.73918440943 4836i	- 1.75740882154 871 - 1.22376398878 849i

- 0.0972204845 576171 + 0.8278625349 20182i	- 0.4775843239 67570 - 0.2758357155 07453i	24.1710220796 154 - 3.51737833948 396i	- 98.0569630378 721 - 120.653305024 403i
0.4239161388 53142 - 0.1804641761 50339i	- 0.4927801135 70660 + 0.3134688584 54399i	7.73047194686 167 - 5.47623048618 468i	18.9049062344 564 + 33.4058638152 798i
- 0.2903112737 41067 + 0.7433612662 39431i	0.0410549451 066655 - 1.0435343963 8150i	- 24.4912207258 945 - 60.2110934102 254i	26.4517986617 994 + 6.60419397343 187i
- 0.3138226158 38078 - 0.2225940383 77352i	- 0.3298833444 57998 - 0.0567953069 987547i	- 27.1786945621 974 - 21.9519617826 814i	21.1521779788 459 - 38.1077858368 973i
- 0.8965316842 99278 + 0.7444338764 18997i	- 0.2862808179 85146 + 0.3169080096 27010i	- 12.4844962968 815 + 6.09349561860 744i	4.09119904174 325 + 37.1992491141 457i
- 10.667773417 1938 - 39.537268585 3417i	8.5812100542 0665 + 1.4980970802 8835i	0.06884384099 67527 - 0.83816633205 5636i	- 0.54113458916 5389 - 0.69699161643 2776i
3.9859607295 6961 + 16.430135227 0924i	66.553562610 2788 - 1.7063868558 7864i	- 0.49663275334 5271 + 0.35860544208 9263i	0.56743505961 6749 + 0.19526576391 2342i
5.1527261921 5722 - 3.9687877448 1339i	48.579276427 1200 - 47.525239830 8033i	- 0.21805160511 0581 -	- 0.06128542086 32965 -

		1.30456574668 938i	0.32861033169 3500i
- 16.809186242 9581 + 16.632251890 8636i	- 94.419131638 1270 - 85.606873210 4687i	- 0.81812645460 2122 - 0.58327246011 9436i	0.42568706321 1972 + 0.49081707495 3591i
- 25.483605452 9074 + 16.670813870 9799i	61.660155413 7127 + 14.951017259 9057i	- 0.13426315985 6457 - 0.09108190540 14649i	- 0.22049291513 6465 + 0.95949979443 9668i
- 21.204284876 7330 - 3.9570164399 9836i	- 119.34188599 1187 - 10.585712862 2391i	0.48290946597 9414 + 0.22992497683 8060i	0.72383590784 5072 - 0.42250731588 8674i
- 64.590749817 5214 + 3.9940139974 6048i	81.857914791 3833 + 1.1651646745 5509i	1.50504090481 814 + 0.03835894364 76968i	0.69322803667 4923 + 0.26737800200 6283i
- 6.3366477915 2850 - 4.9629551840 1396i	- 74.134690274 8701 - 26.055071176 3091i	- 0.64753607144 9488 - 0.36480424947 5629i	- 0.62479761960 0260 - 0.39254547017 8938i
4.0424131369 1736 + 17.548636728 5250i	- 1.4240261802 9830 - 53.222085816 2679i	0.64439622776 8370 - 1.08246972408 057i	0.31148675604 0708 + 0.41595631138 7849i
28.896653197 1487 - 11.906285764 4849i	- 50.756544806 5021 + 60.323620955 8684i	- 0.50331943750 5557 + 1.67428770430 042i	- 0.85966956432 6434 + 1.57289567829 477i
- 26.601569409	32.902538143 0528 +	0.22585102900 0057 -	- 0.37465588367

7102 + 12.466267535 7970i	87.943908939 8068i	1.43892597658 520i	6121 - 1.06802786162 898i
1.4815901542 6406 - 0.4106183434 99689i	3.6692281766 7572 + 142.11787785 3197i	- 0.13683836453 6683 - 0.61246772240 2123i	0.13328842887 6907 - 0.23826587710 7582i
- 37.003312583 6632 - 2.6156567034 9597i	- 17.759797064 4448 + 46.568731428 9740i	- 0.33693232626 9005 + 0.33108128940 9838i	0.49090495282 6196 + 0.55866954071 3831i
- 30.266439992 8013 + 52.223042490 6197i	169.52684622 3353 - 5.2844748783 9605i	- 0.37960387150 2697 - 0.05188535770 70977i	1.01138658226 935 + 0.14526223101 7193i
- 0.6181764534 61941 + 0.9862491905 66055i	- 9.3954782026 5021 - 2.3413529724 6457i	0.45312867594 5047 - 0.39998248103 2062i	- 0.48122968255 0247 - 0.47447979569 6089i
2.0108439398 9466 + 0.9904904786 39621i	1.6545905608 5910 + 0.5210599805 75426i	- 1.20396509875 448 + 0.76823024774 6269i	0.32932015669 7871 - 0.84973158032 6196i
- 7.7431047400 8379 - 1.2397354233 5265i	3.1306531028 9540 - 4.8610723720 3873i	- 0.47047793864 9343 + 0.03489648459 30967i	0.43349157984 9798 - 0.64656331973 8451i
2.8568869136 6022 + 3.5581276159 5706i	- 20.344648288 6119 - 1.6177237074 8518i	- 0.36987079690 0667 + 0.14691666351 1106i	0.18513339499 5245 + 1.10938030018 177i

6.4793217754 5599 + 11.274598891 7407i	- 2.7419208260 1941 - 29.698700116 0712i	- 0.15530116145 7907 + 1.10810145037 720i	- 0.16820993787 6373 - 1.36965252286 278i
0.0086233154 1684647 - 1.6613201271 3468i	5.7307608680 2578 + 12.324262881 4380i	0.10019811784 6464 + 0.05133235540 44396i	- 0.25258878470 4778 - 0.31719020716 1699i
- 9.8830259486 8506 - 0.9170873890 34934i	- 10.989821107 7474 + 2.2096584420 0016i	0.30066201275 5346 - 0.13370777959 2182i	0.71601161943 2396 + 0.07218753161 31576i
- 0.0861864642 062580 - 0.1127266602 80936i	1.1199043678 8438 - 16.467240890 4915i	- 0.17030649759 2983 + 1.99095591344 132i	0.35514827324 0634 - 0.57761379661 0863i
- 0.5950771828 15073 + 3.7327518181 6247i	- 7.0528893554 8216 - 31.185498141 4118i	- 0.14511045001 2533 - 0.11367848850 0115i	0.47812796584 3238 + 1.15109526828 674i
- 2.2382708132 8062 + 2.6613419659 8715i	34.674591807 2099 + 12.826866188 1077i	- 0.34225533093 7319 + 0.61663133721 4434i	- 0.72455619342 5913 + 0.76095940896 5868i
- 2.0887885514 3026 - 3.5553778264 5067i	7.3420716104 6847 - 12.196024963 8297i	1.02324601293 073 - 0.17923711798 9656i	0.22778734206 5637 + 0.53606256412 3360i
- 0.6752107700 06289 +	17.025185847 2814 - 17.463321977 2630i	0.93117486499 0814 - 0.22521764222 6609i	- 0.54918556315 5730 +

3.8977495432 8503i			1.00353031792 721i
5.7761836527 3324 - 4.3777779078 9553i	- 2.3122659228 2103 - 2.7685960913 4379i	- 1.01440962601 680 + 0.46218865209 2904i	0.18605144161 1719 + 0.50576550633 6160i
- 5.1279758266 3042 - 4.6407960503 7152i	- 9.1992409064 0035 - 3.4869194355 7728i	- 0.24852960992 6617 + 0.35395911638 7464i	- 0.44858201761 8589 - 1.19413377846 720i
0.8593256856 40040 - 1.7303618858 2633i	3.7841321586 4624 + 25.711293601 8459i	- 0.16207782451 7802 - 0.11972582483 0984i	- 0.98791571275 0553 - 0.05981733562 38792i
3.1899690458 5483 + 5.0952583736 7583i	2.2607109188 3472 - 12.021243985 8591i	0.42978367125 5478 - 0.01388545725 61143i	0.48381850757 0450 + 0.12619388551 5829i
4.4183800185 1283 + 5.7242392042 1129i	- 18.398163251 1019 - 12.822867208 5396i	0.17528570204 8301 - 0.56646324738 4878i	0.66609560834 3144 - 0.44138009282 5497i
1.5770195232 6399 - 0.2736933461 91870i	24.240409373 9492 - 10.433977610 7458i	0.80909772164 5406 + 0.89166682116 7830i	0.40134868026 1346 - 1.16379749529 997i
- 3.3085471864 9701 + 0.6663993649 19059i	12.706266896 9044 - 36.175931194 3847i	- 0.10482177796 0325 + 0.35695182629 1594i	- 0.35826089715 1033 - 0.02431342040 75438i
3.6563299731 2924 - 2.2835582537 3387i	- 0.8390835551 86283 +	- 0.24747132993 7707 +	0.27468811764 9658 + 0.48331681452 6620i

	0.4382693296 67834i	1.05507122178 585i	
- 0.8166886512 00369 + 3.0887738641 5801i	2.0855083430 0519 + 20.025466681 7270i	- 0.72596281845 7214 + 0.17151239841 1904i	0.26282836055 5104 - 1.38712631624 606i
4.2602977648 1763 + 0.5205186946 82009i	4.1428875342 5237 + 4.5882289573 4138i	0.09902714783 04140 + 0.50349282640 0453i	0.20298219010 7424 - 1.02191151027 142i
- 1.9716889057 7193 - 2.9201866605 9051i	- 1.5111846400 1257 - 8.6797132747 4333i	- 0.15509259451 2394 + 0.63052440880 7657i	0.74165176998 3597 - 0.58868014873 6814i
5.3660754993 9925 + 9.7183020584 7366i	28.150087468 5982 - 20.807481942 0888i	- 0.63139120041 4502 - 0.29829880311 1975i	- 0.10951309968 6408 + 0.85185209345 9328i
0.9928712842 79400 + 1.5050269592 4383i	- 24.148824319 3411 + 5.0103609222 4115i	0.51835708171 2189 + 0.75072540734 7652i	- 0.23781698158 5685 - 1.20886117736 990i
- 0.6562437368 85089 - 3.0916753642 0587i	- 26.623147650 9467 - 6.8235310131 5677i	0.46877934718 9382 + 0.53075350605 6226i	- 0.08444408274 84710 - 1.11103373034 022i
- 5.0068469422 5780 + 0.7572183006 15057i	- 4.7866346614 5876 + 20.381991432 3483i	0.57629039180 5551 + 0.08636098924 76627i	- 0.24270553474 8716 - 1.56485657307 835i
1.2732161050 5969 +	16.286008726 2854 +	- 0.53674182146 5504 +	- 0.33343234296 5425 -

0.2701775822 91225i	5.7265615667 3818i	0.49728446246 3358i	0.05676737989 41964i
- 0.6705630236 67655 + 3.8781250023 3447i	- 19.832379560 6809 + 7.7853339176 2875i	0.08809202625 22079 - 1.00925299353 079i	0.44223423386 9243 + 0.78701920639 0744i
- 0.3430089043 75504 - 7.2287643326 5687i	- 0.0395733689 478588 - 18.337563770 9614i	- 0.56074275241 4617 + 1.04281105157 816i	0.78939202288 9152 + 0.38758015357 5676i
2.4791479333 7408 - 2.6651639773 6698i	20.760292245 7382 + 7.1175527871 4199i	- 1.58532051677 125 + 0.38863925329 4320i	0.41825083015 2518 + 0.25909500930 6332i
- 6.4485376692 9763 - 4.7189935392 1155i	- 7.0611152376 0699 + 4.7209708662 6615i	0.81001667459 5448 + 0.09234710083 22919i	- 0.13737506294 1552 - 0.10634380983 9760i
- 6.4485376692 9763 - 4.7189935392 1155i	- 7.0611152376 0699 + 4.7209708662 6615i	0.81001667459 5448 + 0.09234710083 22919i	- 0.13737506294 1552 - 0.10634380983 9760i
- 3.5451659362 0990 + 3.2520509405 1452i	- 8.6278567567 2314 - 2.5209491577 9296i	0.05071270282 65355 + 0.56622457725 9261i	1.35415985515 632 - 0.81453376342 3844i
- 0.5252505615 08732 - 0.0357046053 342700i	- 7.7501688898 2926 + 2.6454246177 9428i	0.32089941714 5158 + 0.56439799155 0823i	0.37184903157 8571 - 0.93861686719 5524i
17.432957021 0279 -	2.6461610414 0144 -	- 0.44661409106	- 0.02946707305

5.0731443204 5404i	5.8203572885 5733i	7524 - 0.03086698314 93602i	60440 + 0.10639060682 9877i
6.3091394355 1697 - 19.190805105 3750i	- 5.0793943886 5300 + 4.3169721631 2984i	0.33156175560 6642 - 0.28326452530 2534i	0.43365146747 0156 + 1.06100995766 698i
14.598967024 9069 + 14.309628653 7211i	- 1.0023255436 6600 + 2.5532268796 1083i	- 0.27739790805 1445 + 0.67899523872 6118i	- 0.85417967868 9011 + 0.47917498541 9165i
8.4003034367 0576 + 3.9308540476 0863i	2.0890359950 8863 + 10.390936637 2522i	0.33872601150 0455 + 0.02992118981 45181i	- 0.24121103367 5492 + 0.01573790066 14702i
- 3.7938148846 3976 - 13.440575714 2274i	- 7.5790103649 9074 + 3.6616505501 3754i	- 1.30665127616 832 + 0.41817801470 8316i	- 0.76388087973 9309 - 1.29417800498 918i
1.3022717717 1352 + 2.1254931501 9187i	- 13.775521713 3520 + 6.4872649200 4858i	- 1.83343672635 688 - 0.72014048257 0630i	- 0.60622602436 1855 - 0.07511830408 47090i
25.430398770 8204 - 7.4798861451 8092i	21.523103552 8473 - 0.7782314866 53309i	- 1.38495646545 691 + 0.06981306892 45502i	1.10811318819 264 - 0.23426017685 9844i
- 21.368115375 0697 - 28.427545631 0896i	2.6641641624 3414 + 2.2673475623 3034i	0.42546914857 7997 - 0.94519046400 7046i	1.39637085589 434 - 0.33897210296 4407i

6.0284549890 1174 - 23.789315488 7167i	- 9.5398403506 0223 + 4.9491980593 1483i	1.35674850447 868 + 1.24764094474 352i	1.24514478172 155 - 0.87556871780 6669i
- 30.725420098 0026 - 1.9209094242 1825i	- 10.492978520 2186 + 14.691308058 7337i	- 0.04850009715 29209 + 0.80805185157 9575i	- 0.65214527667 3797 - 1.23868722112 095i
38.326406966 6460 - 13.910405823 2750i	20.192006034 7507 + 5.4096006581 7101i	0.16693066670 1526 + 0.47152104350 3828i	- 0.31307515560 0617 + 1.00940725617 068i
- 2.5727299319 2466 - 27.108963074 4769i	- 26.752217327 7281 - 48.355854767 0403i	- 0.26378757816 6948 + 0.54514260895 7627i	0.58852852532 4752 + 0.58444786062 0803i
- 5.9722005830 8584 - 21.536912922 5427i	12.715504389 0390 + 6.9868369143 4768i	0.61766839443 1662 - 0.07172975572 57923i	0.46257496774 8226 + 0.75124615338 0193i
- 37.716046614 7165 + 11.637576851 9645i	12.708826482 9230 + 7.7267159088 1425i	- 0.56303480270 4347 - 0.18005789996 5661i	0.24504272958 7347 - 0.40344292836 9143i
11.873835809 7526 - 18.345058670 5806i	4.6273646875 8183 - 20.782758995 1236i	0.10538029834 0394 - 0.50196282843 0934i	- 0.71532514755 9650 - 0.44198669601 9532i
81.664175368 6729 - 22.083780657 1027i	0.3360346156 36833 + 0.7940270580 80318i	0.40798581956 0642 - 1.03584035343 784i	0.76675833370 1704 + 0.99540881447 8466i

0.2580144470 92588 - 0.2099799449 76157i	- 0.2447492671 12420 - 0.0692934338 268458i	130.445628511 071 + 45.0759649088 585i	- 5.36741896131 862 - 1.64034351305 395i
- 1.4914159013 2270 + 0.2223666080 58737i	1.3283192586 0022 + 0.3527693279 38881i	- 307.297546265 354 + 100.327864929 413i	32.0597404316 157 - 11.8496398234 886i
257.96359516 0659 - 113.73049605 9596i	- 76.564912590 2772 - 29.617037575 4963i	- 0.78751346805 2497 - 0.01628931326 28323i	- 1.18013762545 100 + 0.46442308331 3397i
- 296.05149325 3706 + 121.59746991 6917i	26.165859168 0563 + 19.690240457 5976i	0.65815616561 9476 + 0.32655323373 6552i	- 0.08967709828 79504 - 0.92796645333 1392i
78.824671014 0855 + 76.235727101 4867i	- 26.562505983 1989 + 150.38101783 8853i	- 0.04308556195 76415 - 0.67380075940 5406i	0.09092229288 44005 - 0.24043116468 3791i
- 43.243485167 1151 - 132.59214265 1408i	148.19741993 0263 - 137.27259876 6771i	0.18178535858 0704 - 0.67024837318 3031i	- 0.78266804943 0328 - 0.50474601441 8631i
- 52.605010873 9181 + 122.28327411 6062i	108.41400865 8043 - 57.735362449 2369i	0.18965363659 9254 + 1.10263908375 579i	- 0.91521331546 1418 + 0.00730752411 292651i
- 61.079362246 5772 +	- 171.53440433 2700 +	- 0.70698715864 1180 -	0.31688153171 3720 + 0.53218877088 8384i

173.56201709 8901i	34.520404059 6676i	0.41818955371 1070i	
5.4099777132 7526 - 48.979655593 5566i	80.194094907 5502 - 5.5334337245 5803i	- 0.72019716595 4642 + 0.38606581028 4952i	- 0.00715050829 711994 - 0.49243099645 5092i
- 92.435574816 0435 + 15.779638133 8214i	162.45083609 3891 - 68.030701533 6121i	0.39465825390 8737 + 0.17759644532 7406i	0.20200550731 6431 - 0.39510498704 6752i
- 83.424374398 7017 + 17.044850704 2644i	- 9.8875873371 9578 + 118.78834245 7728i	0.64060238550 0097 + 0.40980973890 3301i	- 0.63015756191 1195 - 0.55807099626 2901i
- 32.774953269 9450 + 76.570666506 4980i	11.104129834 7672 + 80.330887283 8547i	0.22656273479 2711 + 0.14351507020 3744i	0.73439661864 6946 - 0.70380534338 9093i
23.563399437 7594 + 8.8191570038 9031i	15.823114929 6920 + 61.213559820 2707i	0.81655901129 7755 - 0.15482550706 0362i	0.70272869122 5044 - 0.97926660463 6469i
- 36.555097535 7076 - 0.6249985433 92836i	- 1.3573667783 9233 - 6.9732032633 1086i	- 0.40057640297 0051 - 0.34450727573 5468i	- 0.79121102505 2793 - 0.63459090776 7940i
- 0.1676439047 43157 - 22.836662028 2080i	8.4674242517 4345 + 0.2746471575 70243i	0.82970212825 5918 + 0.08487071933 98970i	0.25469668425 3011 + 0.37524203918 0708i
28.871553641 2614 +	15.628170917 2560 -	- 0.99211780227 2985 +	- 1.31220157016 565 -

11.221355663 7648i	6.9328485173 0553i	0.92303089118 6097i	0.62442008520 9410i
21.769691360 8343 - 15.660006147 9270i	- 2.7333087365 3367 - 34.962048076 1611i	0.11097949345 4640 - 0.58108516501 1678i	- 0.73162092195 8206 + 0.42032051551 1665i
24.298799865 7708 - 1.0895411831 9820i	28.524810465 7282 + 1.3769612212 1142i	- 0.02168454200 49661 + 0.50370255244 7245i	0.92053433597 4387 - 0.82208990738 4074i
54.743205517 4356 - 0.9572016602 23607i	31.027679727 1622 + 83.542414926 7295i	0.30345813510 7724 + 0.11682537364 7565i	- 0.44655385397 9549 + 1.12469905680 635i
15.773869915 3972 - 0.6369048619 65200i	- 6.9165497639 9509 - 1.4304698712 5203i	0.39425681586 8500 - 0.21347348099 9646i	0.41927342327 3635 + 0.32542863672 8442i
- 1.9268960859 6451 - 11.441934966 4610i	44.513219508 6062 - 9.3213370974 2980i	- 0.30367924159 4586 + 0.09078213079 94129i	- 0.00759836925 099588 - 0.72623549603 8847i
2.9142980747 0650 + 3.7486212084 4633i	95.421927000 8617 - 50.151129714 2065i	0.22165397970 6840 - 0.24128890287 4247i	0.57620366276 3537 - 0.32301548483 7320i
9.1276468048 7810 + 59.412446661 4392i	- 98.118762545 0452 + 85.272884986 6041i	- 0.47079108987 7006 - 0.13755270617 2370i	- 0.96821804926 2840 - 0.87331433636 9976i
44.081834799 1208 -	264.78684739 0908 -	- 1.27224269905 886 +	- 0.07769150621 80577 +

182.79679805 6613i	304.63153133 6883i	0.94261164181 0563i	0.74580564055 2881i
- 110.21926586 5018 - 29.323656032 4827i	9.6869848872 3510 + 186.01983415 0316i	- 0.64506954448 7739 + 0.09368246204 24650i	- 0.67546145556 4348 - 0.15870140714 9531i
- 45.936573965 3451 - 5.9952463184 1815i	- 28.411757165 5583 - 175.03834555 6559i	- 0.80072800335 8489 - 0.37804120192 3870i	0.13136941458 2908 + 0.03986266237 34118i
- 84.350467540 6808 + 24.862141252 1123i	- 211.29992653 1538 + 236.62103263 4895i	- 1.38731594623 143 + 0.14461680190 5315i	0.65548127739 4413 + 0.71733786948 5322i
- 34.485178604 7691 + 43.353051400 8420i	- 89.508421979 9011 - 24.053928679 3499i	0.66785752552 0989 + 0.00898670126 507548i	- 1.67049033168 070 + 1.77555194190 363i
75.808922518 8619 - 83.802418798 6905i	0.2516773088 38140 - 65.834338993 3485i	- 0.34783456338 6949 + 0.18775698693 7189i	0.48988594660 3403 + 0.25672669468 4181i
- 0.2123384361 65799 + 35.651378874 5499i	44.648224211 2052 + 55.869707165 9602i	- 0.10656063244 2723 + 0.70237961534 0642i	0.44650553623 9059 - 0.09585372889 59189i
16.718138797 7997 + 57.764870804 1687i	1.2234102108 1497 + 19.274136226 5015i	- 0.57818766747 3656 + 0.43242861972 7637i	0.29384659577 4277 + 0.66831000424 4054i
67.841643742 7431 +	70.304917227 9489 -	0.46127958107 4487 +	0.31012398493 8766 -

40.179123483 8165i	12.712445764 5610i	0.52475584934 7017i	0.27111800463 6267i
43.665775338 8486 + 28.114844437 3153i	- 55.166844316 6580 + 44.837500020 5163i	- 0.40980774079 0748 + 0.02976011302 46742i	- 0.90281147114 1913 - 0.98682694283 4282i
0.6953996437 57336 - 6.2790285522 1955i	- 57.869895071 2416 - 97.000888467 1195i	0.05417136360 27639 - 0.93395821996 6724i	- 0.05367729936 23929 + 0.43284412186 4581i
- 57.237895017 7461 - 13.359175404 2220i	- 55.286552871 6812 - 32.884095997 4195i	0.48269118602 5820 - 0.86388434717 6994i	0.59614903120 4385 - 0.39439367818 6972i
1.6061474549 1542 - 22.556388113 0597i	- 3.9005236197 5696 - 44.416385991 4576i	0.08772722946 31327 - 0.55397243810 9048i	- 0.26682828992 6787 + 0.76337403740 1724i
30.536553788 5007 - 48.705196668 4491i	60.676934344 9035 - 42.173304152 1081i	- 1.00305425735 072 + 0.07793388466 60119i	- 0.53978072284 7375 - 0.07221721385 26070i
- 39.469047361 6102 + 55.959262181 7906i	- 11.762150421 7347 - 114.87772221 7953i	0.92684633319 0162 - 0.35004386243 9519i	- 0.76567418301 7779 - 0.23750034954 5977i
- 118.82360041 8577 + 144.30924583 8641i	83.575915650 2513 + 35.713510224 1927i	0.50800466993 8163 - 0.26938815151 6439i	- 0.63077220326 8094 + 0.07095085990 03746i
5.5945078912 0532 -	- 14.443435304	- 0.65564846816	0.44342870573 0853 -

17.981996584 9724i	0886 + 122.83135198 3794i	8699 - 0.28677801862 7400i	0.35233193405 3830i
25.293950288 5338 - 42.631051413 0858i	- 83.164531024 7629 + 49.099652223 5864i	- 0.02615012181 85911 - 0.64685258992 6278i	0.49433129345 5090 + 1.37670283956 469i
120.26487471 7624 + 56.596669537 4374i	- 130.70495416 6290 + 64.501664330 0008i	- 0.20256365931 9742 - 0.13374485595 6440i	- 0.34914813079 6671 + 0.66145222086 6401i
0.6465609555 16319 + 0.0803292902 479420i	- 0.4883585692 01639 - 0.7482297887 68458i	- 0.68116921293 8726 - 2.95681425847 989i	- 5.31219432846 122 - 2.57967504261 877i
0.1819433819 35245 + 0.2538797626 68358i	0.0778074210 498827 - 0.2910292469 18086i	- 13.5823571123 864 - 6.80161764286 883i	4.81816736932 393 - 3.35072352773 961i
- 0.2607097853 98610 - 0.7544347048 38344i	- 0.9254358744 87153 - 0.1961667230 22182i	- 2.68682919215 155 - 4.35400366701 475i	3.42671607936 118 + 2.80315913855 861i
- 0.7464594261 27506 + 0.0975236835 057641i	- 0.9651068633 26437 + 0.8201388239 96627i	8.63014726638 099 + 5.26133128046 330i	- 5.39387952653 715 + 4.26225093097 992i
0.4856688738 98615 + 0.9518182461 09248i	- 0.3921365867 58217 - 0.4792938471 74766i	0.23654849082 0826 - 3.13515886790 047i	- 3.22815377485 000 - 9.20246075297 559i

0.2738661130 12704 - 0.7803861195 05548i	1.0824114259 4821 - 0.1499577397 63525i	3.80690144028 617 - 2.86351949564 254i	- 0.95996583850 7989 + 5.14247534798 015i
0.2895608028 75230 + 0.0626273671 975925i	- 0.0251102564 541238 - 0.4617138000 52898i	- 4.27254618702 887 + 12.0058298137 191i	- 6.17860546434 283 + 6.58310578508 564i
0.7945301141 70263 + 0.0440577432 520508i	0.8220769636 38731 + 1.0368738759 0130i	14.0804774681 617 - 2.56873689880 666i	2.12219498164 797 + 4.41445648782 608i
- 0.5573125921 54397 - 0.7859879316 29778i	0.0992913604 940981 + 0.4809032945 52068i	- 3.24977005047 010 + 5.25550710029 218i	1.34109109584 529 + 9.09741027104 309i
- 0.6749790880 13537 + 1.1434772493 4117i	0.1850733997 99856 - 0.0394576319 967838i	- 8.72580669824 307 - 1.47795798167 510i	- 5.90086073567 969 + 4.60147051787 631i
- 0.1736973910 10640 - 0.6357086146 21953i	0.5523363132 44015 - 0.2045675900 93057i	0.32687239722 9922 + 0.33047832664 9281i	- 0.62622498819 6886 + 0.64789926560 8549i
- 0.0076198751 3649265 - 0.3606024671 51719i	- 0.2155118256 67461 + 0.2714011326 23539i	0.73286471407 4434 + 0.19282238148 8802i	- 0.35948664476 1117 + 0.91771625619 5795i
0.1981459257 37904 + 1.2694758943 0859i	0.2395263134 98129 + 1.4382613503 1378i	0.02695547782 32969 - 1.27576473589 351i	- 0.35859195134 5830 + 0.03011957756 08340i

0.1041014219 38237 + 0.7527028629 22997i	- 0.0177084682 756260 + 1.3373401407 2606i	- 0.97273621865 2608 - 1.74571292480 395i	0.39672323046 9711 + 0.06931379287 44216i
0.7318770527 60988 - 0.7849581634 05662i	- 0.2299984116 00723 + 0.5574668348 21419i	0.15334458199 1389 - 0.69290702003 3354i	- 0.02680791952 88689 + 0.37600733798 4079i
0.2017904617 50780 + 0.5059174338 06737i	- 0.6712032707 23602 + 0.1013005793 16833i	17.5530177354 057 - 1.46253097058 985i	- 6.01490502843 330 + 6.26029755847 184i
0.5175648286 69125 - 1.0303167812 5261i	- 0.6809504863 66926 + 0.3543182395 11221i	- 14.1727620580 333 + 33.7846807056 727i	7.67654863714 262 - 2.62576422218 144i
- 0.7969470944 64819 + 0.3889077172 15438i	- 0.0734338032 511375 - 0.7634893971 11565i	10.0939894032 207 - 40.7038182687 070i	- 1.08780981243 941 + 5.42785157572 456i
- 0.5170723354 53330 + 0.5592195857 95224i	- 0.9679709866 56957 - 0.0072084420 0224763i	24.5630219208 176 - 23.9564466321 625i	5.45632757556 289 - 9.22025568771 690i
1.0752901595 7554 - 0.1458163945 95507i	0.4738500099 12821 - 1.1386416969 5843i	25.3623841963 757 - 3.46103270974 648i	5.64696642035 542 + 5.05658956304 491i
8.4922198766 5793 + 49.244826371 5602i	0.1308325777 20587 + 12.112299889 2338i	- 0.47611288627 8562 + 0.06386814469 83124i	1.22913034840 928 + 0.24427482142 5040i

23.240726691 4568 - 1.8305060801 1758i	2.5235878888 3080 - 4.6016178721 7180i	0.17544083096 2098 - 0.09637252342 05443i	- 1.28513623349 538 + 0.19380081399 0963i
19.853961710 6246 + 25.528888377 0681i	- 6.5071102577 5414 - 2.9164879827 1552i	- 0.67620054279 3789 - 0.74909036026 9402i	- 0.13034444250 7545 + 0.59189645328 4849i
- 5.6773732450 5982 - 14.311663798 9364i	3.7399381885 6752 + 11.333663613 9517i	- 0.08322837314 22344 - 0.63977930739 2218i	- 0.88806291071 3799 - 0.40975761469 3999i
- 27.737231427 7790 + 18.174969357 2114i	1.2744206751 4522 - 2.7419067371 0332i	1.48188344008 108 + 0.03503961976 79243i	- 0.09691951802 33846 - 0.51494013333 2775i
- 0.5980501189 85278 + 0.1464065811 45862i	1.6604114495 2754 - 0.4591447019 26623i	- 0.64500278355 4547 - 0.18593387874 6606i	- 0.03839889200 99855 - 0.46877146761 7220i
0.1470831559 05073 + 0.6605935369 35933i	- 2.0181414701 5072 - 0.3275895816 94448i	0.28732955189 2987 + 0.01837167183 41768i	0.55307546815 2648 - 0.34999223679 9112i
- 0.3364342320 01527 - 0.1323985034 64058i	2.6411782924 1544 + 1.0863720187 9425i	- 0.37197152140 7030 + 0.28380441020 8956i	0.24317774498 9030 + 0.33867520235 3627i
0.4380074632 79517 + 1.6411667448 5456i	2.0321859697 2861 + 0.5453714961 18144i	0.02742105170 57464 + 0.06303236185 68022i	- 0.50195756032 9351 -

			0.74074163895 4285i
- 0.5558052469 63722 + 0.5116763651 88615i	- 2.2197321609 1798 - 2.3292307719 0474i	0.36871858854 3660 + 0.61018902227 8222i	- 0.31192231045 8770 + 0.52748340342 1311i
- 0.4883159229 25144 + 2.9435490561 9106i	3.9433807623 9629 - 4.9537976371 6665i	- 0.07628084169 71662 + 0.09748276623 83399i	0.43100169608 2349 - 1.02121640543 847i
0.2463915142 98398 + 0.5434135569 70535i	1.9173231664 8262 + 1.1725435780 3434i	1.08340166677 079 + 0.09391349082 08009i	- 0.40369303466 4143 + 1.48210101401 388i
- 3.5439998694 3825 - 0.2387234163 97090i	- 2.3268670880 9916 - 0.4443646464 91651i	0.04665723813 59889 + 0.19940845181 1293i	- 0.14000836608 1104 + 0.84035311135 1123i
1.0153401500 8141 - 0.3989725468 40663i	- 7.7725003268 7149 - 0.7132987712 57386i	- 0.972575470 830830 + 0.724369631 634799i	- 0.731475096 834223 + 0.189588531 732898i
1.0357502084 2433 - 1.3115423446 3939i	- 3.4381614998 7339 + 4.1845478852 3145i	0.91403958090 8270 - 0.06424350344 53021i	1.01166494245 062 - 0.40441027919 9343i
1.4319063008 7317 + 0.9860331438 03691i	- 5.3433866990 0761 - 4.0316187977 4415i	- 0.88699552311 3148 + 0.04931300744 09958i	- 0.30723202945 9585 + 0.55400467838 1348i

1.3227327127 7299 + 0.2800939811 37299i	- 5.2446631736 2195 + 3.5944741431 3208i	0.39125889049 1213 + 0.56572722982 1775i	- 2.21950435427 653 - 0.06680016674 89239i
- 3.1499338161 6626 + 1.1436492805 6073i	- 0.7925375608 40606 + 2.3142083316 3515i	1.10290099658 610 - 0.03644454804 81351i	1.07945682664 613 + 0.63270297114 9662i
1.4687247155 2698 - 2.1427434193 2359i	- 1.7765331426 0283 + 4.0846437795 9162i	0.76803708170 5343 + 0.04738434574 00108i	- 0.04226422808 22842 + 0.40774599393 7702i
0.2478930995 73017 + 2.4464499876 5833i	5.1910445100 7861 + 0.5272459902 72975i	0.62867699725 2231 + 0.31035756217 8743i	0.89996394124 1439 + 0.33886677364 0046i
- 0.7158349086 06231 - 1.0897461159 7206i	1.7476962135 8985 + 0.3036795980 75690i	- 0.93028414562 9143 + 0.37353103556 0594i	0.84735590057 7810 - 0.09585648574 16194i
2.3407511028 8198 - 6.6094450755 0606i	1.7271289234 6756 - 4.3224360033 4041i	0.03313942047 82868 + 0.55697507436 1979i	- 0.09868222330 23449 + 0.24107872446 5941i
- 5.6805832666 0626 - 7.0745156315 2457i	- 0.9551486231 09525 - 8.5572888499 5253i	0.63408926079 7008 - 0.20791175199 6240i	0.46590057755 4204 + 0.33136134056 5936i
16.678183620 7035 + 10.798393315 8156i	- 7.9600091708 7701 - 2.0848152828 3480i	- 1.13828259589 826 + 0.53251932692 9895i	0.91671894484 4705 - 0.95748319747 9764i

65.232367380 9756 + 30.332138901 0365i	- 7.2781496593 7446 + 15.568426806 7655i	- 0.68731256039 7421 - 0.23904599022 0599i	- 0.50017770898 8259 - 0.13499399457 5924i
5.2461216109 4221 + 72.324639751 4523i	17.977691309 7502 - 34.406643865 9063i	- 0.46202772856 7055 - 0.99637573520 4170i	- 0.04641297797 67837 + 0.18455864641 7192i
0.2600963345 69469 - 0.3175977609 36371i	0.5703354660 75170 - 0.8514785317 29354i	- 0.77392919110 9415 - 4.34235499264 196i	- 0.81804577160 7585 + 1.10306732596 554i
0.8922049392 34735 - 0.2594042239 30768i	- 0.9555474416 88714 - 0.9451324196 46952i	1.04954762542 018 - 0.86194735465 7176i	2.59264170192 745 - 0.28595048659 9187i
- 0.6860553128 58233 + 1.1981581082 3478i	- 0.9548935134 43597 + 0.0332517135 332284i	- 2.15298137819 105 + 0.94488966445 6387i	- 0.32596663324 9383 + 0.08209621826 68010i
- 0.6289590877 46288 - 0.0118564582 610443i	- 1.8163965075 2697 - 0.0442864504 217517i	1.46009532345 346 - 1.24892078999 437i	0.29199385486 8422 + 0.80637141557 2746i
- 0.8053981037 29338 - 0.6177798399 71168i	0.2031600277 92468 + 1.6034234020 7593i	1.87566869498 416 + 1.61153721956 844i	1.27165999065 663 - 2.30393109571 963i
- 0.0722786290 637620 -	- 0.7247256159 94710 +	- 0.09116790871 04296 -	- 2.32020825420 782 -

2.3453508920 4110i	2.4537522923 6681i	3.40009364376 484i	0.50469684800 3913i
0.9150270927 47560 - 0.8126667429 03353i	- 0.9590592623 12225 + 0.7532642958 01832i	- 0.44178207787 2370 - 0.76189200870 8927i	- 0.22960268335 3476 - 0.36767558100 6468i
- 1.3519785027 4871 + 0.0614432738 077945i	2.4475385203 9009 + 0.2891856218 77218i	- 0.84041627788 5288 + 1.30268344371 638i	- 0.23393980563 6148 - 1.06646654056 438i
- 0.2363524496 61040 + 0.4707146519 70537i	2.5505134870 7553 - 0.3915709516 75816i	1.64951425517 563 - 1.43667808654 697i	- 0.28250527418 9346 - 1.24974908315 475i
- 19.836912224 0367 + 9.0392171679 6190i	- 20.257867459 5772 - 79.225427842 8340i	- 0.81179768227 8411 + 0.15212031508 0746i	- 1.55093531280 584 - 0.93513723440 4543i
- 0.6697549355 89967 - 2.4617830178 8621i	- 46.099973921 3540 + 9.2224436717 8380i	1.15856970272 523 - 0.17851383921 1507i	0.23750225717 5444 - 0.41328221239 3242i
- 7.0548040761 8518 - 10.922897159 5152i	81.338884104 8991 + 48.552890777 2480i	0.70084076441 0249 - 0.06389822993 14026i	- 0.13261034005 9149 - 0.00074200741 1498075i

E. Nilai Kapasitas Kanal Link Surabaya-Malang

kapasitas kanal pengukuran Surabaya-Malang ke 3 BPS/Hz								
SISO				SIMO		MISO		MIMO
h11	h12	h21	h22	TX1	TX2	RX1	RX2	
11.6	15.3	9.4	13.3	9.9	13.5	14.7	12.4	12.4
16.9	18.8	10.7	12.3	16.6	18.5	17.5	12.2	18.4
12.6	15.7	11.7	12.6	9.7	16.2	15.3	13.0	17.3
19.3	15.2	11.8	11.3	19.1	14.5	17.6	8.2	19.5
18.4	14.7	12.4	13.8	18.4	12.5	17.8	13.9	21.7
16.0	17.5	7.0	12.3	16.2	17.0	16.1	11.7	18.4
15.3	16.7	10.8	13.7	15.7	17.3	16.8	13.3	19.1
15.6	17.7	12.1	12.8	15.6	18.2	16.6	10.6	20.1
14.1	16.3	12.0	10.1	12.9	16.6	15.4	12.1	18.1
15.1	16.2	11.4	12.9	15.8	15.1	16.2	10.9	19.1
10.8	16.3	12.9	13.4	13.4	15.1	15.7	13.2	18.6
15.1	15.0	12.1	9.4	14.7	15.1	16.1	12.0	15.5
19.3	19.4	12.9	12.9	19.6	19.7	20.2	13.4	19.8
20.0	21.0	14.7	13.2	20.4	20.9	18.8	14.1	25.8
19.4	20.4	13.1	11.5	19.3	20.4	20.9	10.4	23.8
18.6	20.3	13.7	13.5	18.9	20.5	19.1	8.5	23.5
19.5	18.5	11.4	11.8	19.6	18.6	19.2	12.4	19.7
18.3	19.1	9.1	12.1	18.2	19.1	15.2	11.7	20.4
18.2	18.3	11.9	13.2	18.3	18.2	18.6	13.5	19.5
15.6	18.4	9.0	11.5	15.3	18.2	17.7	10.1	15.7
16.7	18.9	10.9	14.6	17.1	19.0	16.1	13.6	20.9
14.4	19.1	12.9	13.0	12.1	19.4	17.7	13.9	21.8
20.7	20.8	14.3	13.2	20.6	20.9	20.8	14.0	25.9
18.9	20.6	14.3	13.0	18.9	20.7	20.9	11.1	25.1
18.4	20.9	14.9	11.9	17.6	21.0	20.7	13.4	25.6

17.6	19.1	16.3	10.9	17.5	19.0	18.5	15.0	24.6
18.6	17.9	14.1	13.3	18.9	18.0	19.3	14.7	18.3
17.3	20.9	15.4	13.0	16.2	20.9	20.3	14.1	25.4
18.2	19.7	14.7	14.9	18.6	19.1	18.8	15.8	24.7
16.9	19.0	15.2	12.9	15.2	19.2	16.9	13.7	23.7
17.4	19.9	15.1	14.8	15.6	19.9	17.4	14.8	24.5
20.1	19.7	14.2	10.4	19.8	19.8	20.2	12.3	23.8
20.6	21.3	14.8	12.5	20.3	21.4	22.0	13.5	26.1
17.6	22.3	15.1	13.3	17.8	22.4	21.0	14.5	27.0
20.7	21.0	13.3	12.2	20.7	20.9	19.4	13.6	24.1
20.7	20.9	13.6	13.4	20.6	20.8	21.7	14.4	19.2
20.2	21.6	15.8	12.5	20.7	21.6	19.7	14.4	26.9
19.5	20.8	21.4	21.1	22.5	22.9	17.8	20.0	30.0
20.4	20.8	21.1	22.8	20.4	21.6	21.6	22.0	32.9
20.5	21.0	20.9	21.8	20.8	20.7	21.7	22.4	28.3
19.7	20.4	20.0	20.8	21.4	22.4	20.7	20.4	27.8
20.2	20.1	21.0	21.6	22.2	22.3	15.3	18.6	27.9
19.8	17.6	18.2	20.4	19.1	20.6	17.8	19.9	30.0
19.5	21.3	20.0	19.0	16.8	21.7	18.8	19.4	31.2
19.1	19.7	18.9	19.5	20.0	21.2	20.4	17.8	29.8
19.0	19.9	20.8	20.7	20.5	22.2	20.3	20.2	31.5
19.9	20.2	20.3	21.0	18.9	21.8	20.1	21.4	31.8
19.8	17.6	22.0	21.7	23.1	21.0	17.8	22.7	32.1
19.5	21.3	22.3	22.8	21.9	20.5	18.8	23.0	33.1
19.1	19.7	20.7	22.3	22.0	20.8	20.4	19.1	32.2
19.0	19.9	18.9	22.3	19.6	21.6	20.3	20.3	31.4
19.9	20.2	21.1	22.7	22.6	23.7	20.1	22.5	29.4
15.0	13.9	18.3	21.8	17.7	21.7	13.9	19.8	26.1
16.1	14.7	21.1	20.8	21.3	20.4	16.3	19.4	26.8

15.1	14.3	20.8	20.5	20.3	20.2	15.2	21.3	21.6
15.1	13.2	20.9	20.2	20.9	20.4	15.2	21.0	25.2
13.2	12.7	18.8	19.8	18.7	19.7	13.1	15.7	23.2
20.1	19.9	10.4	11.4	20.1	19.8	18.9	10.0	21.9
17.7	21.9	8.2	12.4	17.6	21.9	20.4	12.0	21.3
17.3	15.3	20.3	21.0	20.5	20.7	17.4	21.6	27.3
15.7	17.6	20.6	20.7	20.7	19.9	16.6	20.0	28.6
17.7	16.1	21.2	18.9	21.9	19.5	16.2	18.5	25.8
17.2	15.4	20.8	19.3	21.1	19.3	14.7	17.2	23.2
15.9	15.1	19.9	19.2	20.5	19.4	15.9	20.5	23.8
17.0	15.3	20.5	19.7	19.6	19.8	16.6	17.6	26.1
13.9	13.6	19.8	19.4	19.5	19.2	6.6	19.5	23.5
13.9	13.6	19.8	19.4	19.5	19.2	6.6	19.5	23.5
16.9	15.8	14.4	14.6	17.0	17.3	16.1	15.5	21.7
18.6	16.4	13.9	15.1	18.1	15.1	18.7	15.0	23.0
16.1	16.4	14.7	13.2	16.4	16.8	16.0	13.1	18.8
17.2	16.5	16.0	16.7	18.1	17.5	17.9	17.3	21.2

F. Nilai Kapasitas Kanal Link Bandung-Surabaya

kapasitas kanal pengukuran Bandung-Surabaya BPS/Hz								
SISO				SIMO		MISO		MIMO
h11	h12	h21	h22	TX1	TX2	RX1	RX2	
25.6	20.4	19.8	21.2	25.9	19.3	24.9	19.0	36.4
26.6	20.0	19.0	20.0	26.5	21.9	25.7	15.4	36.0
22.8	18.7	18.2	22.0	23.0	22.5	21.2	20.3	33.9
21.7	22.7	19.6	21.9	22.8	23.8	19.9	20.2	33.2
16.1	19.1	18.2	19.6	17.6	20.9	17.7	19.5	28.0
16.8	15.6	26.6	31.9	26.6	31.9	15.7	30.7	38.3

15.1	15.8	23.8	27.9	24.0	27.9	10.9	26.9	32.3
16.7	17.5	29.4	26.9	29.4	26.9	13.6	27.8	35.4
14.6	14.2	27.6	28.2	27.6	28.2	15.3	28.2	33.1
17.8	14.9	24.9	27.8	25.2	27.8	17.7	27.3	34.8
28.1	23.6	16.9	17.0	28.1	23.4	26.9	17.7	34.9
25.5	29.5	15.9	15.9	25.6	29.5	28.7	14.7	34.3
22.8	29.5	18.2	14.2	23.1	29.5	28.8	17.8	37.0
26.5	31.3	17.4	16.1	26.5	31.3	30.4	13.7	38.2
27.2	29.3	12.1	17.3	27.2	29.3	27.5	16.2	32.8
26.2	31.2	15.6	16.8	26.1	31.1	30.6	16.9	35.6
29.4	30.1	18.5	16.5	29.3	30.1	24.7	18.7	38.9
23.4	29.9	16.5	16.5	23.6	30.0	29.2	17.5	35.5
25.7	28.8	18.0	15.5	25.6	28.8	26.7	16.8	36.2
27.3	30.0	19.0	19.0	27.2	30.0	27.8	20.0	39.1
27.1	30.5	18.4	17.7	27.0	30.4	29.7	19.0	37.9
18.6	31.7	16.0	13.6	18.9	31.7	30.7	15.9	37.0
27.8	28.6	15.2	16.5	27.8	28.7	28.6	16.1	29.8
29.2	32.2	14.6	17.4	29.2	32.2	30.8	15.1	35.9
17.8	23.9	15.9	16.2	15.9	24.1	23.0	16.0	29.5
19.7	18.9	18.4	17.1	19.3	19.4	20.3	16.0	28.3
23.3	22.4	15.2	16.6	23.5	22.8	22.2	14.9	27.7
21.7	26.1	14.7	17.7	21.7	26.0	24.6	17.0	31.4
24.8	27.2	17.7	18.3	25.0	27.3	24.8	13.8	33.1
18.8	24.9	11.1	14.8	18.7	24.8	23.6	12.9	24.7
24.0	24.3	14.1	16.4	23.9	24.1	25.1	16.4	28.9
11.7	25.4	19.4	16.2	19.2	25.5	24.5	17.4	34.2
21.2	27.4	12.5	18.0	21.1	27.2	26.0	16.6	28.6
21.0	27.8	16.3	17.5	21.5	27.7	26.7	18.0	33.7
21.4	25.0	17.5	15.8	21.3	25.0	24.5	17.1	31.4

21.3	26.6	17.2	17.7	21.1	26.4	25.2	15.9	33.1
23.1	21.1	17.7	15.6	22.6	20.6	22.3	17.1	22.1
22.9	24.0	14.9	18.1	22.9	24.2	24.4	16.6	31.4
19.3	26.8	12.7	17.3	19.3	26.7	25.6	16.8	29.7
22.5	24.6	14.9	15.4	22.6	24.6	22.6	16.1	30.1
23.1	26.3	15.8	16.7	22.9	26.3	24.3	17.1	32.3
18.7	26.8	17.9	18.0	20.0	26.9	26.0	17.0	34.1
20.9	27.9	14.5	14.4	21.0	27.9	26.8	14.7	31.6
21.6	17.2	17.6	15.7	21.1	17.6	19.9	17.6	27.4
20.7	26.0	16.5	18.4	21.1	25.8	25.4	17.1	32.5
21.6	22.6	15.4	17.5	21.7	22.3	23.0	14.9	29.9
21.0	23.6	16.1	17.2	20.6	23.8	23.6	14.8	30.4
24.3	27.6	16.3	16.9	24.2	27.6	26.6	16.1	31.9
19.1	26.1	17.1	18.0	20.2	26.6	25.5	14.6	33.1
20.7	26.9	16.4	17.7	20.1	27.0	26.1	15.3	32.6
22.0	26.1	15.8	18.7	21.7	25.9	25.4	17.6	30.0
18.1	25.6	16.5	14.2	17.5	25.5	24.8	16.3	31.3
21.3	26.2	17.4	17.1	20.5	26.2	25.5	14.8	32.9
23.1	25.7	17.8	17.0	22.6	25.7	25.7	17.4	33.1
21.1	26.3	18.8	15.3	19.9	26.3	25.5	17.2	34.5
23.4	23.5	16.8	12.3	23.1	23.5	23.9	15.2	29.6
23.4	23.5	16.8	12.3	23.1	23.5	23.9	15.2	29.6
21.9	23.7	15.7	18.7	22.1	23.4	23.6	17.4	31.4
15.5	23.4	16.1	17.4	15.7	23.2	22.6	15.7	29.0
25.7	22.7	15.0	11.0	25.7	22.7	25.4	14.3	25.3
26.0	22.8	15.0	17.8	26.1	23.0	24.2	16.6	33.2
26.1	20.3	16.5	17.3	26.1	21.0	25.2	17.7	32.5
23.8	24.2	14.2	13.3	23.9	24.2	24.7	9.9	28.7
25.0	23.5	18.3	18.5	25.0	23.6	24.2	18.7	34.1

20.0	25.2	19.3	15.9	18.5	25.3	24.2	10.1	33.9
26.8	26.2	18.3	17.7	26.7	26.4	27.5	13.1	35.8
27.7	21.0	17.5	18.4	27.7	21.7	26.4	18.7	35.5
26.6	24.2	19.1	18.6	26.5	23.8	24.9	19.1	33.9
27.2	25.7	16.7	18.3	27.2	25.6	27.2	15.8	35.7
28.1	26.1	15.4	17.5	28.1	26.1	28.1	17.5	34.1
26.9	28.9	15.9	16.8	26.8	28.9	29.0	16.8	33.3
26.3	25.1	16.0	17.0	26.3	25.2	24.4	17.1	32.5
28.0	25.1	15.8	15.2	28.0	25.1	26.3	15.2	33.3
26.3	26.2	15.4	16.9	26.3	26.2	27.2	16.7	31.7
30.2	16.9	17.7	18.0	30.2	19.5	29.2	16.8	37.5
14.2	13.4	31.6	22.3	31.6	22.5	12.7	30.5	34.3
18.5	18.3	34.0	27.5	34.0	27.6	14.9	32.7	41.3
33.6	30.1	16.7	18.0	33.6	30.1	32.1	18.4	41.3
34.0	27.4	16.5	17.2	34.0	27.4	32.9	15.8	40.3
30.9	31.9	16.2	13.4	30.9	31.9	32.1	16.1	36.7
31.6	32.7	16.3	17.2	31.6	32.7	32.7	17.2	40.0
31.5	31.2	17.7	17.1	31.5	31.2	29.2	17.2	39.7
32.4	32.3	16.8	16.0	32.4	32.3	32.9	13.8	40.0
28.6	30.0	16.8	15.3	28.6	30.0	29.7	15.5	35.3
30.5	32.3	14.9	15.0	30.4	32.3	29.3	15.0	37.2
30.2	31.2	16.6	16.9	30.2	31.1	31.1	10.9	37.9
30.1	30.0	13.6	17.4	30.1	30.0	31.0	16.7	36.4
26.7	29.3	16.8	17.9	26.7	29.3	29.0	18.2	36.1
27.7	23.0	15.5	17.4	27.8	23.3	26.9	17.6	34.5
26.4	23.5	16.8	15.1	26.4	23.6	25.5	16.8	29.7
27.3	25.5	18.2	18.4	27.2	25.4	27.3	18.8	35.8
26.8	27.6	15.8	16.9	26.9	27.6	27.9	15.1	33.4
26.6	27.0	15.4	18.0	26.6	27.1	27.8	16.2	34.9

28.9	30.3	14.1	17.9	28.9	30.3	30.1	17.0	34.7
25.3	23.0	15.0	15.5	25.4	22.8	22.7	15.8	30.9
24.4	28.4	14.0	16.4	24.4	28.4	27.5	15.4	29.7
21.9	30.9	14.1	16.2	21.8	30.9	29.9	16.3	34.4
29.2	31.4	15.3	18.1	29.2	31.4	31.2	18.0	34.8
32.5	34.7	18.7	16.5	32.4	34.7	34.7	18.6	42.6
31.0	32.4	16.1	16.3	31.0	32.4	31.4	17.2	39.1
28.4	32.3	17.0	11.6	28.5	32.3	31.6	15.5	38.7
30.3	34.0	18.3	17.3	30.3	34.0	33.6	16.7	41.7
28.9	30.4	16.2	19.9	28.9	30.5	30.3	18.4	38.0
31.0	29.4	14.7	15.6	31.0	29.4	31.1	14.2	36.1
27.7	29.7	16.4	15.1	27.7	29.7	29.7	15.3	35.3
29.2	25.9	16.4	16.4	29.2	26.0	29.0	16.7	35.1
30.0	29.7	16.3	14.8	30.0	29.7	30.6	15.8	34.5
28.8	20.7	14.8	18.2	28.7	29.7	28.8	17.8	35.8
22.7	31.0	17.2	15.0	23.1	31.0	30.1	14.4	37.6
29.1	29.4	17.3	16.4	29.1	29.4	30.2	17.8	33.2
26.4	28.3	15.7	16.7	26.4	28.3	28.5	12.6	34.9
29.0	29.8	17.4	15.6	29.0	29.8	30.4	17.6	35.0
29.6	31.1	17.3	16.7	29.5	31.1	28.9	14.9	37.8
32.4	30.4	15.8	16.0	32.4	30.4	31.4	12.2	37.2
25.8	31.3	16.4	15.7	25.8	31.2	29.8	15.2	36.8
28.6	30.5	16.1	18.5	28.7	30.6	28.1	15.9	35.6
31.5	31.7	13.3	16.5	31.5	31.7	30.2	15.6	38.1
18.1	19.0	17.4	16.9	19.0	20.1	17.1	12.8	25.4
23.0	21.8	15.7	13.5	22.8	21.6	23.4	15.7	24.5
23.7	23.6	16.2	15.7	23.7	23.4	24.5	16.6	26.2
26.0	23.4	18.0	18.2	25.9	23.2	23.6	14.2	32.1
29.7	25.6	16.4	15.5	29.7	25.6	28.8	17.0	34.7

29.7	27.9	17.6	12.6	29.7	27.9	27.3	16.2	33.8
14.8	17.4	21.6	18.3	21.8	14.4	17.4	20.1	28.6
17.1	18.2	18.2	20.1	19.7	19.4	16.9	20.2	28.2
18.3	17.2	19.8	14.2	21.0	18.1	18.4	19.2	26.0
16.0	19.1	19.2	16.9	18.5	18.9	18.9	18.1	27.9
17.4	18.7	20.0	20.1	18.4	18.8	16.8	19.7	26.4
19.8	20.1	20.9	19.9	22.4	21.1	15.7	20.8	30.7
17.9	17.9	17.0	14.9	18.8	18.0	8.8	17.1	25.4
18.2	20.0	18.6	17.6	20.1	19.8	17.8	16.6	27.4
15.5	20.1	19.6	18.1	18.9	20.3	18.8	19.5	28.9
26.2	30.1	16.8	19.1	26.4	30.1	29.0	19.0	35.8
20.1	28.5	17.8	15.2	20.2	28.4	27.5	17.6	35.6
24.8	30.5	16.3	11.5	24.7	30.5	29.1	14.7	36.1
16.1	17.0	20.6	22.5	20.4	22.8	15.3	22.4	28.3
14.0	13.9	25.2	22.5	25.2	22.6	12.5	23.8	29.0
16.7	17.2	22.1	21.6	22.5	21.1	17.6	17.9	30.0
16.5	18.0	24.0	22.9	23.9	23.4	18.3	23.0	32.3
17.5	16.0	20.7	23.9	19.8	24.1	14.2	23.7	31.3
16.8	17.6	21.9	22.1	22.3	22.0	17.8	20.1	29.2
13.8	15.1	24.7	23.7	24.7	23.6	14.2	25.2	30.0
16.7	18.2	25.0	21.9	25.2	22.6	18.3	24.4	32.0
17.2	15.3	22.6	23.8	22.5	23.9	14.6	24.1	30.9
18.2	12.5	23.6	23.2	23.8	23.1	16.9	24.2	30.7
16.2	15.8	15.1	17.1	14.3	15.0	16.1	16.4	20.8
14.4	14.3	16.6	17.3	16.5	18.2	12.2	16.8	22.3
18.1	18.4	18.1	14.4	13.1	18.5	19.3	17.1	26.0
16.6	18.2	19.4	14.7	18.2	18.4	18.5	18.0	27.1
17.6	15.9	16.4	14.5	18.9	17.3	14.6	13.3	17.2
15.6	16.2	25.6	23.6	25.7	23.8	15.6	23.6	30.3

17.8	16.6	27.7	23.4	27.7	23.1	15.3	26.3	32.6
17.0	16.6	28.1	22.3	28.1	21.9	16.2	26.7	33.9
16.6	17.3	27.6	24.2	27.5	24.1	17.7	27.3	33.9
17.6	18.0	26.7	23.2	26.8	23.1	17.4	26.3	34.3
28.6	24.6	15.2	18.0	28.6	24.6	28.3	15.8	36.3
26.4	22.1	12.7	18.1	26.5	21.7	25.8	16.7	33.9
27.4	23.0	17.4	15.9	27.3	23.0	25.8	15.8	32.7
25.2	24.5	16.1	17.3	25.4	24.4	20.0	17.4	32.7
27.5	20.5	18.5	15.5	27.4	20.9	26.2	17.5	32.6
16.0	18.9	16.2	15.2	18.0	19.2	16.7	16.2	24.8
16.2	19.4	13.8	16.1	16.7	18.7	18.2	16.1	24.0
14.4	20.4	15.2	14.8	16.4	20.7	19.0	15.0	24.9
18.9	19.5	9.6	17.0	19.0	18.6	19.8	15.8	25.5
16.5	20.7	16.4	15.9	17.7	20.6	19.8	16.7	25.9
20.5	22.7	11.3	17.7	20.6	23.1	20.4	16.3	27.0
15.9	19.7	17.6	18.6	18.5	20.6	19.3	17.9	27.4
21.0	19.8	12.8	16.9	21.0	20.0	21.5	16.5	26.8
17.6	23.3	17.9	16.5	14.1	23.5	21.9	18.3	30.8
18.8	22.2	17.1	17.6	19.9	21.7	20.2	18.3	29.6
19.0	22.8	17.0	16.0	17.8	22.8	21.0	17.2	29.5
18.2	22.7	16.3	19.7	19.2	23.4	21.3	18.2	25.1
20.8	19.9	17.6	18.0	19.8	20.5	21.1	18.7	28.5
20.1	21.7	16.6	14.8	20.6	21.9	18.3	15.9	27.6
20.0	22.1	16.3	17.2	20.4	22.6	21.6	17.8	27.9

G. Membuat Cumulative Distribution Function

```
CsortSISO11 = sort(xlsread('D:\HF DOKUMEN\TA Rizal
Satria\Kapasitas_Kanal_final.xlsx', '1', 'A6:A76'));
CsortSISO12 = sort(xlsread('D:\HF DOKUMEN\TA Rizal
Satria\Kapasitas_Kanal_final.xlsx', '1', 'B6:B76'));
```



```

CsortSISOh21 = sort(xlsread('D:\HF DOKUMEN\TA Rizal
Satria\Kapasitas_Kanal_final.xlsx','1','C6:C76'));
CsortSISOh22 = sort(xlsread('D:\HF DOKUMEN\TA Rizal
Satria\Kapasitas_Kanal_final.xlsx','1','D6:D76'));
CsortMIMO = sort(xlsread('D:\HF DOKUMEN\TA Rizal
Satria\Kapasitas_Kanal_final.xlsx','1','I6:I76'));
datavolume = 71 ;
cdf = linspace(0,1,datavolume);
plot(CsortSISOh11,cdf);
hold on
plot(CsortSISOh12,cdf);
hold on
plot(CsortSISOh21,cdf);
hold on
plot(CsortSISOh22,cdf);
hold on
plot(CsortMIMO,cdf);
hold on

```

H. Uji Statistik Kapasitas Kanal Surabaya-Malang

Two-sample T for Siso(h11) vs SISO(h12)

	N	Mean	StDev	SE Mean
Siso(h11)	71	17,60	2,35	0,28
SISO(h12)	71	18,21	2,54	0,30

Difference = mu (Siso(h11)) - mu (SISO(h12))
 Estimate for difference: -0,610
 95% CI for difference: (-1,423; 0,203)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = -1,48 P-Value = 0,140 DF = 139

Two-sample T for SISO(h21) vs SISO(h22)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h21)	71	15,82	4,13	0,49
SISO(h22)	71	15,94	4,12	0,49

Difference = μ (SISO(h21)) - μ (SISO(h22))
 Estimate for difference: -0,127
 95% CI for difference: (-1,494; 1,241)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = -0,18 P-Value = 0,855 DF = 139

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MISO(RX1)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	71	18,55	2,80	0,33
MISO(RX1)	71	17,76	2,88	0,34

Difference = μ (SIMO(TX1)) - μ (MISO(RX1))
 Estimate for difference: 0,786
 95% CI for difference: (-0,156; 1,729)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = 1,65 P-Value = 0,101 DF = 139

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MISO(RX2)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	71	18,55	2,80	0,33
MISO(RX2)	71	15,76	3,94	0,47

Difference = μ (SIMO(TX1)) - μ (MISO(RX2))
 Estimate for difference: 2,791
 95% CI for difference: (1,656; 3,926)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = 4,87 P-Value = 0,000 DF = 126

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MISO(RX1)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	71	19,46	2,31	0,27
MISO(RX1)	71	17,76	2,88	0,34

Difference = μ (SIMO(TX2)) - μ (MISO(RX1))
 Estimate for difference: 1,701
 95% CI for difference: (0,833; 2,568)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = 3,88 P-Value = 0,000 DF = 133

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MISO(RX2)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	71	19,46	2,31	0,27
MISO(RX2)	71	15,76	3,94	0,47

Difference = μ (SIMO(TX2)) - μ (MISO(RX2))
 Estimate for difference: 3,706
 95% CI for difference: (2,632; 4,779)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
 = 6,84 P-Value = 0,000 DF = 113

Two-sample T for Siso(h11) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
Siso(h11)	71	17,60	2,35	0,28
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = μ (Siso(h11)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -6,431
 95% CI for difference: (-7,662; -5,200)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
 -10,36 P-Value = 0,000 DF = 103

Two-sample T for SISO(h12) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h12)	71	18,21	2,54	0,30
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = μ (SISO(h12)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -5,821

95% CI for difference: (-7,072; -4,570)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= -9,22 P-Value = 0,000 DF = 108

Two-sample T for SISO(h21) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h21)	71	15,82	4,13	0,49
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (SISO(h21)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -8,213
95% CI for difference: (-9,676; -6,750)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
-11,10 P-Value = 0,000 DF = 137

Two-sample T for SISO(h22) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h22)	71	15,94	4,12	0,49
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (SISO(h22)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -8,087
95% CI for difference: (-9,548; -6,625)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
-10,94 P-Value = 0,000 DF =137

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	71	18,55	2,80	0,33
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (SIMO(TX1)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -5,482
95% CI for difference: (-6,763; -4,202)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= -8,48 P-Value = 0,000 DF = 114

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	71	19,46	2,31	0,27
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (SIMO(TX2)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -4,568
95% CI for difference: (-5,795; -3,341)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= -7,39 P-Value = 0,000 DF = 102

Two-sample T for MISO(RX1) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
MISO(RX1)	71	17,76	2,88	0,34
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (MISO(RX1)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -6,269
95% CI for difference: (-7,559; -4,978)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= -9,62 P-Value = 0,000 DF = 116

Two-sample T for MISO(RX2) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
MISO(RX2)	71	15,76	3,94	0,47
MIMO	71	24,03	4,67	0,55

Difference = mu (MISO(RX2)) - mu (MIMO)
Estimate for difference: -8,274
95% CI for difference: (-9,708; -6,840)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= -11,41 P-Value = 0,000 DF =136

I. Uji Statistik Kapasitas Kanal Bandung-Surabaya

Two-sample T for SISO(h11) vs SISO(h12)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h11)	175	22,98	5,23	0,40
SISO(h12)	175	24,13	5,26	0,40

Difference = μ (SISO(h11)) - μ (SISO(h12))

Estimate for difference: -1,146

95% CI for difference: (-2,249; -0,043)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2,04 P-Value = 0,042 DF = 347

Two-sample T for SISO(h21) vs SISO(h22)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h21)	175	17,67	3,69	0,28
SISO(h22)	175	17,69	3,23	0,24

Difference = μ (SISO(h21)) - μ (SISO(h22))

Estimate for difference: -0,022

95% CI for difference: (-0,751; 0,708)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,06 P-Value = 0,953 DF = 342

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MISO(RX1)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	175	24,33	4,49	0,34
MISO(RX1)	175	24,05	5,49	0,42

Difference = μ (SIMO(TX1)) - μ (MISO(RX1))

Estimate for difference: 0,285

95% CI for difference: (-0,770; 1,340)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,53 P-Value = 0,595 DF = 334

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MISO(RX2)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	175	24,33	4,49	0,34
MISO(RX2)	175	17,66	3,68	0,28

Difference = μ (SIMO(TX1)) - μ (MISO(RX2))
Estimate for difference: 6,670
95% CI for difference: (5,805; 7,534)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= 15,18 P-Value = 0,000 DF = 335

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MISO(RX1)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	175	25,33	4,24	0,32
MISO(RX1)	175	24,05	5,49	0,42

Difference = μ (SIMO(TX2)) - μ (MISO(RX1))
Estimate for difference: 1,282
95% CI for difference: (0,250; 2,314)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value
= 2,44 P-Value = 0,015 DF = 327

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MISO(RX2)

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	175	25,33	4,24	0,32
MISO(RX2)	175	17,66	3,68	0,28

Difference = μ (SIMO(TX2)) - μ (MISO(RX2))
Estimate for difference: 7,666
95% CI for difference: (6,831; 8,501)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
18,05 P-Value = 0,000 DF = 341

Two-sample T for SISO(h11) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h11)	175	22,98	5,23	0,40
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SISO(h11)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -9,436
 95% CI for difference: (-10,456; -8,417)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -18,20
 P-Value = 0,000 DF = 338

Two-sample T for SISO(h12) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h12)	175	24,13	5,26	0,40
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SISO(h12)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -8,290
 95% CI for difference: (-9,313; -7,267)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -15,94
 P-Value = 0,000 DF = 338

Two-sample T for SISO(h21) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h21)	175	17,67	3,69	0,28
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SISO(h21)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -14,748
 95% CI for difference: (-15,605; -13,890)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -33,81
 P-Value = 0,000 DF = 336

Two-sample T for SISO(h22) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SISO(h22)	175	17,69	3,23	0,24
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SISO(h22)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -14,726
 95% CI for difference: (-15,542; -13,910)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
 -35,50 P-Value = 0,000 DF = 318

Two-sample T for SIMO(TX1) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX1)	175	24,33	4,49	0,34
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SIMO(TX1)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -8,082
 95% CI for difference: (-9,021; -7,143)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
 -16,93 P-Value = 0,000 DF = 347

Two-sample T for SIMO(TX2) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
SIMO(TX2)	175	25,33	4,24	0,32
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (SIMO(TX2)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -7,085
 95% CI for difference: (-7,998; -6,173)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
 -15,28 P-Value = 0,000 DF = 347

Two-sample T for MISO(RX1) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
MISO(RX1)	175	24,05	5,49	0,42
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (MISO(RX1)) - μ (MIMO)
 Estimate for difference: -8,367
 95% CI for difference: (-9,417; -7,318)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
-15,68 P-Value = 0,000 DF = 333

Two-sample T for MISO(RX2) vs MIMO

	N	Mean	StDev	SE Mean
MISO(RX2)	175	17,66	3,68	0,28
MIMO	175	32,42	4,43	0,34

Difference = μ (MISO(RX2)) - μ (MIMO)

Estimate for difference: -14,752

95% CI for difference: (-15,609; -13,894)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value =
-33,85 P-Value = 0,000 DF = 336

Halaman ini sengaja dikosongkan



BIOGRAFI

Rizal Satria Eka Nugraha, biasa dipanggil Rizal, lahir di Kediri Pada 1 April 1995. Besar di Bogor, sebuah kota cukup besar di Jawa Barat. Memulai pendidikan di TK Akbar Bogor, dilanjutkan di SDN Gunung Gede kota Bogor, lanjut di SMPN 5 Bogor, kemudian SMAN 1 Bogor, hingga saat ini melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di jurusan Teknik Elektro bidang studi Telekomunikasi

Multimedia.

Email : rizalsas953@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan